

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proses pengolahan yang melibatkan fluida dalam industri kimia banyak melibatkan sistem perpipaan. Dalam industri perminyakan, pipa yang disalurkan berjarak panjang, bahkan sampai ratusan meter. Berbagai jenis pipa dengan berbagai ukuran dipakai untuk menyalurkan minyak mentah dan hasil olahannya dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

Pada saat sistem perpipaan bertugas menyalurkan fluida proses, maka keandalan dari sistem pengaliran fluida ini harus terjamin. Hambatan ataupun kemacetan yang terjadi dalam pipa penyalur harus dihindari, agar fluida dapat mengalir dengan lancar. Untuk mencapai tujuan ini, maka pembersihan bagian dalam pipa harus secara rutin dilakukan.

Pada saat para operator sistem perpipaan menemui masalah pengotoran bagian dalam pipa, terpikirlah untuk meniru cara orang membersihkan kotoran, yaitu dengan mengelap atau menggosok kotoran tersebut memakai benda padat. Benda padat yang dimasukkan ke dalam pipa untuk tujuan pembersihan di kemudian hari terkenal dengan nama *pig*. Agar pengertian alat pembersih ini secara ilmiah tidak ditafsirkan dengan pengertian lain, maka istilah “*pig*” tidak diterjemahkan dan diadopsi apa adanya baik ejaan maupun lafalnya. Selanjutnya dari kata benda *pig* timbullah turunan kata *pigging* untuk menyatakan tindakan yang dilakukan dengan benda bernama *pig*.

Penelitian tentang *pigging* telah dilakukan oleh berbagai ahli. Dalam bentuk simulasi, Xiao-Xuan Xu dan Jing Gong (2005), serta Nguyen, *et al* (2001) telah melakukannya dalam rangkaian sistem perpipaan gas. Selanjutnya Kazuio Minami bersama Ovadia Shoham (1993), Hoi, Che Yeung (2002), serta Saeidbakhsh, M. Rafeeyan dan S. Ziaei-Rad, M. (2009) telah melakukan pemodelan untuk dinamika *pig* dalam bidang tiga dimensi.

Para peneliti ini menggunakan sistem perpipaan yang mirip dengan kondisi perpipaan di lapangan disertai dengan peralatan terkomputerisasi untuk melakukan pengamatan dan analisis secara *online*. Peralatan simulasi proses *pigging* seperti yang dimiliki oleh *Australian Centre for Energy and Petroleum Training* (ACEPT) di Perth berupa sistem perpipaan yang terbuat dari baja karbon dan benar-benar seperti sistem perpipaan di lapangan. Dengan kondisi seperti ini, maka gerakan *pig* di dalam pipa tidak dapat dilihat secara langsung. Sementara itu para ahli yang telah disebutkan terdahulu pada saat melakukan simulasi umumnya menggambarkan proses *pigging* dengan animasi komputer, sehingga gerakan *pig* dapat tergambar secara visual di layar monitor.

Dalam penelitian yang akan dilakukan ini diusahakan untuk membuat suatu alat simulasi yang benar-benar berupa sistem perpipaan dengan bentuk seperti aslinya sekaligus dapat menampilkan gerakan *pig* secara visual. Dengan alat seperti ini, karakteristik gerakan *pig* dengan mudah dapat diamati oleh mata telanjang dan didukung oleh alat-alat yang sederhana. Direncanakan sistem perpipaan untuk menjalankan proses *pigging* tersebut terbuat dari bahan yang transparan, namun kuat dan tidak mudah pecah. Alat simulasi yang dirancang dan dibuat dalam penelitian ini akan menjadi perpaduan antara alat simulasi dengan bentuk sistem perpipaan seperti bentuk nyata yang dimiliki oleh lembaga pelatihan industri perminyakan dan animasi komputer yang menampilkan gerakan *pig* secara visual. Desain simulator proses *pigging* seperti ini belum ada dalam penelitian-penelitian yang telah ditelusuri dalam literatur. Kalaupun ada, Darbytech (2010) membuatnya dengan rangkaian selang dan pipa plastik dengan bentuk *launcher* dan *receiver* yang tidak mirip dengan aslinya.

Dimensi *pig* serta peralatan untuk melakukan *pigging* diambil dari rangkaian perpipaan paling kecil yang mungkin diaplikasikan di lapangan, namun dimensi serta bentuk peralatan dibuat seproporsional mungkin sesuai dengan aslinya, sehingga peralatan simulasi proses *pigging* yang dibuat akan dapat dipakai sebagai sarana praktek yang tidak terlalu jauh dengan kondisi lapangan yang sebenarnya. Jenis *pig* yang dipakai dipilih *foam pig*, karena jenis ini umum digunakan dan mempunyai tingkat keamanan yang tinggi.

Gerakan pig dalam menempuh perjalanan dalam pipa tentunya mengikuti azas gerakan dasar dalam ilmu fisika. Esmailzadeh (2009) telah mencoba mengikuti gerakan pig yang diluncurkan sepanjang jalur pipa yang sedang beroperasi di Iran. Dari berbagai macam gerak dalam ilmu fisika, diharapkan dapat diamati jenis gerak yang paling cocok untuk menerangkan dinamika *pig*, dengan alat yang dibuat transparan ditambah beberapa alat ukur sederhana.

Sifat lain yang menarik untuk diamati adalah kinerja *pig* pada saat bekerja sesuai fungsinya. Ada beberapa variabel yang mungkin berpengaruh terhadap gerakan *pig* dan kinerjanya. Variabel yang menjadi tolak ukur kinerja *foam pig* di lapangan biasanya berupa kecepatan *pig* untuk menempuh jarak sepanjang pipa yang dilaluinya, serta banyaknya cairan yang dapat diserap. Oleh karena keduanya dipengaruhi oleh beberapa variabel lagi, maka hubungan kedua variabel ini dengan variabel yang lain perlu diketahui.

Ukuran *pig* yang semakin besar seharusnya lebih memberikan gesekan yang besar pula, tetapi hubungan antara besarnya *pig* dengan kecepatan *pig* serta jumlah cairan yang dibersihkan juga belum ditemukan rumusannya. Oleh karena dalam penelitian ini dipakai jenis *foam pig* yang tugasnya menyerap cairan, maka kemampuan penyerapan cairan serta kandungan cairan dalam pipa yang akan dibersihkan diduga mempengaruhi kinerja proses *pigging*. Kecepatan awal udara sebelum dibebani oleh *pig* tentunya menjadi penentu apakah *pig* dapat memulai gerakan atau tidak, dan selanjutnya jika sudah bergerak akan berkecepatan tinggi atau rendah. Satu hal lagi yang diduga menjadi penentu kinerja *pig* adalah sifat miliknya yang khas berupa kemampuannya untuk menyerap cairan. Kinerja proses *pigging* yang diamati dalam simulator seperti yang dibuat dalam penelitian ini belum ditemukan dalam literatur.

Variabel lain yang kemungkinan mempengaruhi proses *pigging* ditinjau dari bahannya adalah jenis gas yang berbeda-beda kompresibilitasnya, jenis cairan yang berbeda densitas dan viskositasnya, serta suhu operasi yang mempengaruhi massa jenis gas. Jika ditinjau dari alatnya, variabel lain yang berpengaruh adalah: jenis pipa yang berlainan kekasarannya, serta jenis *foam pig* yang meliputi *bare foam pig* dan *criss-cross foam pig*.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan dalam proses *pigging* perlu diidentifikasi, namun dengan sumber daya dan target yang ada perlu dilakukan pembatasan agar dicapai hasil penelitian secara efisien. Selanjutnya disusun suatu perumusan masalah sebagai pendekatan untuk menyusun metode penelitian.

### 1.2.1 Identifikasi Masalah

- (1) Diperlukan keterampilan dan pengetahuan tentang proses *pigging* untuk melakukan perawatan sistem perpipaan yang mengalirkan fluida dalam jarak panjang, untuk itu diperlukan tenaga terdidik yang telah mempunyai bekal pengetahuan tentang *pigging*.
- (2) Belum ada alat untuk melakukan simulasi secara fisik tentang proses *pigging*, untuk itu perlu dirancang dan dibangun suatu alat yang mirip dengan kondisi peralatan *pigging* di lapangan dalam skala *pilot plant*.
- (3) Karakteristik gerak *pig* serta kinerjanya dalam peralatan yang dibuat perlu diketahui sebagai gambaran karakteristik *pig* yang sebenarnya.

### 1.2.2 Pembatasan Masalah

- (1) Diperlukan peralatan yang aman untuk dioperasikan, oleh karena itu harus dipilih metode dan bahan yang aman untuk dipakai sebagai perangkat simulasi fisik
- (2) Karena alat yang akan dibuat diproyeksikan untuk memenuhi skala *pilot plant*, maka diperlukan bahan yang cukup banyak setiap kali dilakukan percobaan. Untuk itu sebagai fluida penggerak dipilih udara, sedangkan pengotor yang digunakan adalah air.
- (3) Agar ukuran alat dapat mendekati keinginan untuk dibuat dalam skala *pilot plant*, perlu dipilih ukuran terkecil yang dipakai dalam sistem perpipaan di dunia pengaliran fluida jarak panjang yang dilengkapi dengan perangkat untuk melakukan *pigging*.

- (4) Sistem perpipaan di lapangan pada umumnya melibatkan berbagai macam *fitting* dan *valve*, namun karena penelitian ini masih sebagai dasar dan diharapkan masih dapat dikembangkan lagi, maka karakter proses *pigging* yang diamati dibatasi pada pipa lurus.
- (5) Jenis *pig* yang dipakai dipilih dari jenis yang banyak dipakai secara nyata, tetapi mudah disediakan sekaligus memenuhi syarat keamanan. Selanjutnya dipilih *foam pig* untuk memenuhi kriteria ini.
- (6) Tolok ukur kinerja proses *pigging* hanya dibatasi pada dua faktor yang biasa digunakan untuk menilai baik tidaknya proses *pigging*, yaitu: tingkat pembersihan dan kecepatan proses.
- (7) Variabel yang mempengaruhi proses dipilih variabel-variabel yang menyebabkan perubahan bahan dan rancangan alat kecuali ukuran dan daya serap *foam pig*, serta adanya jaminan keamanan dan kemudahan operasional, sehingga dibatasi hanya meliputi: ukuran *pig*, laju alir awal udara pembawa sebelum diberi *pig*, kadar cairan dalam pipa, serta kemampuan *foam pig* menyerap cairan

### 1.2.3 Perumusan Masalah

- (1) Berdasarkan skala yang diinginkan serta hasil penelusuran awal, bagaimana peralatan simulasi fisik untuk proses *pigging* dirancang untuk dapat dijadikan alat penelitian sekaligus pelatihan
- (2) Dengan alat yang telah dibuat dan bahan yang dipilih bagaimana disusun metode untuk mengetahui karakteristik proses *pigging*
- (3) Dari hasil pengamatan yang diperoleh, bagaimana model dapat disusun untuk mengetahui karakteristik proses *pigging* yang telah dijalankan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan latar belakang yang menjadi inspirasi bagi penelitian ini, serta beberapa masalah yang dapat dirumuskan, maka penelitian ini ditujukan untuk :

- (1) Merancang dan membuat alat simulasi proses *pigging* dengan ukuran yang masih mungkin diterapkan secara praktis, tetapi dalam ukuran yang minimal. Alat yang dihasilkan diharapkan dapat dianggap berskala *pilot plant*.
- (2) Menguji karakteristik *foam pig*. Variabel bebas yang divariasikan selama penelitian adalah : ukuran *pig*, laju alir awal udara pembawa sebelum diberi *pig*, kadar cairan dalam pipa, serta kemampuan *foam pig* menyerap cairan. Selanjutnya variabel yang dipengaruhi dan dijadikan sebagai tolak ukur kinerja proses *pigging* adalah kecepatan luncur *pig* serta jumlah cairan dalam pipa yang dapat dibersihkan oleh *pig*.
- (3) Membuat model matematis untuk merumuskan dinamika dan kinerja *foam pig*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Secara umum hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan dasar untuk lebih memahami segi praktis dan karakteristik proses *pigging*. Selanjutnya secara khusus penelitian ini diharapkan memberikan manfaat :

### a. Manfaat akademik

- (1) Mendapatkan gambaran dinamika gerak *foam pig* dalam pipa
- (2) Mendapatkan gambaran kinerja *foam pig* yang dipengaruhi beberapa faktor
- (3) Mendapatkan model yang menggambarkan dinamika gerak *pig*.
- (2) Mendapatkan model yang dapat menggambarkan pengaruh beberapa variabel terhadap kinerja *foam pig*.

### b. Manfaat Praktis

Manfaat praktis terutama didapat dari alat simulasi yang telah selesai buat, dengan kegunaan yang diharapkan adalah:

- (1) Sebagai sarana untuk melatih keterampilan dalam menjalankan proses *pigging*
- (2) Sebagai sarana latihan bagi calon tenaga kerja yang akan menangani sistem perpipaan di industri atau operator jalur pipa
- (3) Sebagai alat simulasi untuk melihat kasus yang ditemui selama proses *pigging* di lapangan

## BAB II

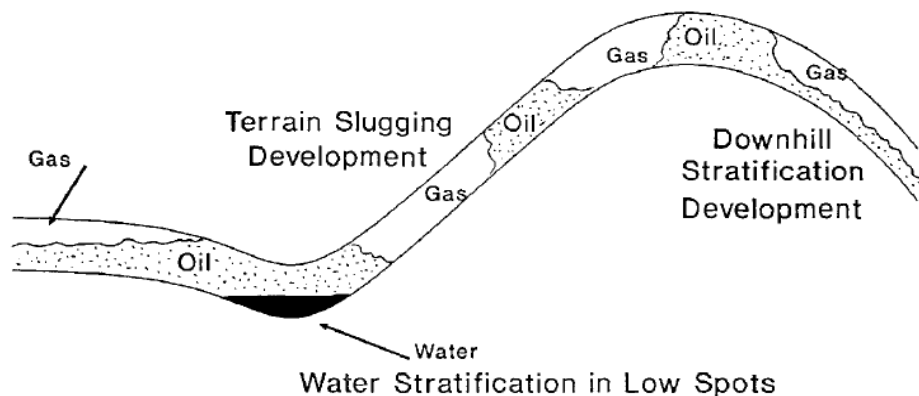
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Masalah dalam Sistem Perpipaan

Dalam dunia industri, pengaliran fluida melalui sistem perpipaan sudah menjadi keseharian. Menurut Tiratsoo (1992), dalam pengaliran fluida ini seringkali ditemui masalah seperti :

- (1) Pengendapan padatan dalam aliran fluida cairan atau gas, sehingga bagian dalam pipa menjadi semakin sempit dan aliran terhambat. Padatan dalam dinding pipa yang mengalirkan fluida bisa disebut *debris*
- (2) Pembekuan cairan dan membentuk padatan lunak dan liat. Hal ini biasa terjadi dalam pengaliran minyak bumi, dan padatan seperti ini disebut *wax*
- (3) Kondensasi komponen aliran gas, membentuk cairan. Cairan yang terbentuk karena hasil kondensasi dalam pipa biasa disebut *slug*.
- (4) Timbulnya gelembung dalam aliran cairan.

Sistem perpipaan jarak panjang biasa dimiliki oleh perusahaan minyak akan mengalami masalah yang lebih berat daripada industri yang hanya mempunyai perpipaan jarak pendek. Contoh masalah yang timbul dari pengaliran gas alam melalui medan yang bergunung dapat digambarkan dalam ilustrasi berikut (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Gambaran kondisi pengaliran gas dengan pembentukan *slug*  
Sumber : Tiratsoo (1992)

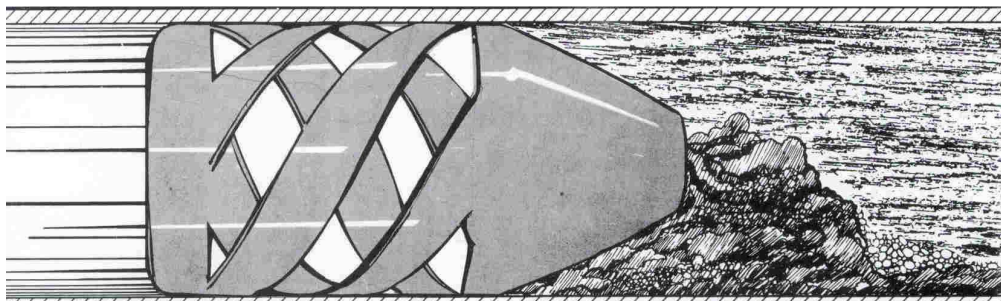
Masalah-masalah dalam perpaan ini dapat diatasi dengan memasukkan suatu alat yang dapat mendorong materi yang berlainan fasa dengan fluida yang sedang dialirkan. Benda tersebut harus memenuhi syarat, paling tidak :

- (1) Kuat, tidak mudah aus atau patah dan pecah menghadapi berbagai hambatan
- (2) Dapat berjalan dengan lancar di belokan pipa dan beberapa bentuk kerangan
- (3) Inert, tidak bereaksi dengan fluida yang sedang dialirkan
- (4) Memiliki daya sekat yang baik, sehingga tekanan atau beda tekan yang diaplikasikan dengan mudah dapat menggerakkan benda tersebut.
- (5) Bersifat licin, berarti bergerak dengan lancar dalam permukaan yang kasar.

## 2.2 *Pig dan pigging*

*Pigging* didefinisikan sebagai tindakan meluncurkan benda yang disebut *pig* ke dalam jalur pipa. Sedangkan *pig* adalah suatu bentuk alat yang dapat diluncurkan ke dalam pipa dengan mengikuti aliran fluida dalam pipa. Contoh benda tersebut serta gambaran mekanisme kerjanya diilustrasikan dalam Gambar 2.2.

Nama *pig* pertama kali muncul karena suara yang ditimbulkannya. Pada saat benda itu mulai diluncurkan, timbul suara keras seperti babi menguik, sehingga timbullah istilah *pig* yang memang diartikan sebagai babi. Pada waktu berikutnya barulah dicari kepanjangan yang pantas untuk *pig*, dan akhirnya dikenal kepanjangan *pig* sebagai *pressure inspection gauge* (Wikipedia, 2008).



Gambar 2.2 *Pig* pada saat bekerja  
Sumber : Wikipedia, 2008



Menurut Cordel dan Panzant (1990) serta Tiratsoo (1992), pada saat ini ada berbagai macam *pig* untuk berbagai macam keperluan. Jika dirangkum kegunaan *pig* yang utama adalah:

- (1) Memisahkan produk berbeda yang harus mengalir dalam pipa yang sama
- (2) Membersihkan endapan dan lumpur yang menempel di dinding pipa
- (3) Mengkalibrasi alat ukur kecepatan fluida
- (4) Memoleskan inhibitor korosi ke sepanjang sisi dalam jalur pipa
- (5) Menghilangkan jebakan cairan dalam aliran gas, atau menghilangkan jebakan gas dalam aliran cairan
- (6) Inspeksi bagian dalam pipa

Untuk memenuhi berbagai keperluan, diperlukan berbagai jenis *pig* sesuai dengan fungsi dan bentuknya.

Belokan pipa harus diatur agar *pig* dapat berjalan dengan lancar. Radius belokan diatur dalam standar pemasangan jalur pipa, agar jalur pipa tersebut bersifat *piggable* atau dapat dilalui *pig*. Menurut ukuran Cordel dan Vanzant (1990) belokan disesuaikan dengan diameter pipa, seperti tercantum dalam tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Ketentuan belokan pipa yang dapat dilewati *pig*

Diameter pipa (D)	Radius belokan
4 inci	20D
6 dan 8 inci	10D
10 inci dan lebih besar	5D

Sebagai contoh, untuk pipa 4 inci harus diberi belokan dengan radius minimal  $20 \times 4$  inci atau sama dengan 80 inci. Dalam ASME B31.8 ketentuan belokan sedikit berbeda, sebagai misal untuk diameter pipa kurang dari 12 inci dalam standar tersebut ditentukan radius belokannya 18D.

## 2.3 Jenis-jenis *pig*

Pembagian jenis *pig* dapat dilakukan dari berbagai dasar tinjauan. Jika ditinjau dari kondisinya *pig* dapat dibagi menjadi dua (Godevil, 2008), jenis berupa *pig* fisik (physical *pig*) yang disebut juga sebagai *pig* konvensional dan *pig* elektronik (electronical *pig*). *Pig* fisik merupakan *pig* yang bekerja karena bentuk fisiknya, sedangkan *pig* elektronik pada prinsipnya berupa detektor yang dimasukkan ke dalam jalur pipa untuk mendeteksi korosi serta kerusakan bagian dalam pipa.

Cara pembagian kedua adalah menurut kegunaannya dan hanya berlaku untuk *pig* fisik. Seperti diuraikan oleh Cordel dan Panzant (1990) serta Tiratsoo (1992), ada berbagai jenis *pig*, namun jika dirangkum sesuai dengan fungsinya jenis *pig* dapat dibagi menjadi :

- (1) *Pig* pengering (*drying pig*)
- (2) *Pig* pembersih (*cleaning pig*)
- (3) *Pig* penyekat (*isolating pig* atau *batching pig*)

Cara pembagian ketiga adalah menurut bentuknya. Sebenarnya cukup sulit untuk membagi jenis *pig* dengan cara ini, karena saat ini bentuk *pig* begitu bervariasi. Berbagai literatur menyebutkan banyak macam *pig*, namun demikian berbagai *pig* tersebut selalu dapat dibedakan menjadi 4 bentuk dasar, yaitu:

- (1) *Foam pig* atau *polly pig*
- (2) *Bi-directional pig*, disingkat menjadi *bi-di pig*
- (3) *Brush pig*
- (4) *Sphere pig*, yang biasa hanya disebut sebagai *sphere*.

*Pig* untuk pengering terbuat dari bahan yang dapat menyerap cairan. Cairan yang diserap belum tentu air, tetapi dapat berupa berbagai jenis minyak. Oleh karena busa yang menjadi bahan *pig* untuk keperluan pengeringan ini, maka jenis *pig* seperti ini disebut *foam pig*.

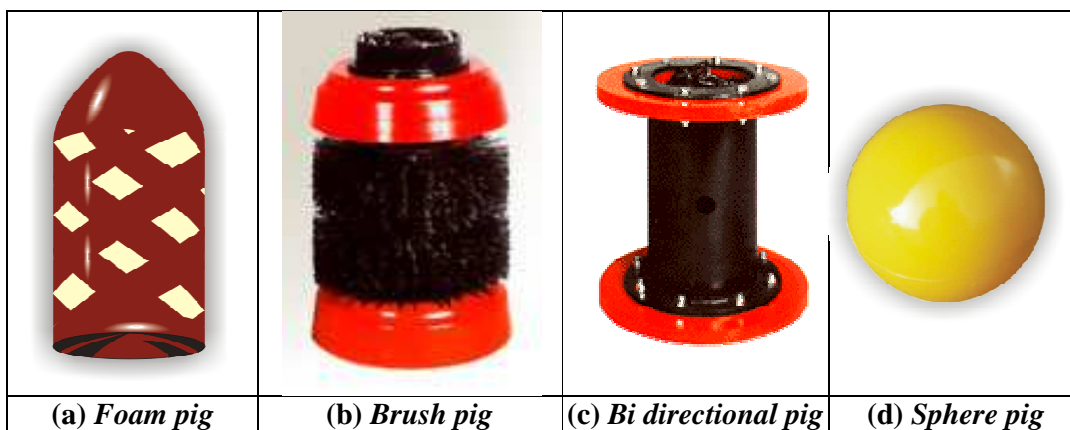
*Foam pig* yang diaplikasikan dalam pipa jarak panjang, harus mempunyai kemampuan meluncur dengan baik. Untuk itulah pada bentuk *foam pig* yang moderen, disekitar busa diberi pembalut yang berupa anyaman poliuretan (*poly urethane*) yang bersifat licin dan kekar. Adanya pembalut ini menyebabkan badan *pig* tidak cepat rusak. Ujung *pig* dibuat runcing, agar dapat berbelok dengan mudah. Contoh *foam pig*

dipresentasikan oleh *Pipeline Pigging Products* (2004) seperti yang terlihat dalam Gambar 2.3(a).

*Pig* untuk membersihkan bagian dalam pipa dari kotoran yang menempel berupa sikat yang terbuat dari bahan plastik lentur. Untuk mengarahkan *pig* agar mengikuti belokan jalur pipa, maka di kedua ujungnya dipasang mangkuk (*cup*) yang terbuat dari bahan polimer yang kuat (Gambar 2.3(b)). Ujung mangkuk bagian depan juga dibuat meruncing, agar *pig* dapat berjalan mengikuti lekukan pipa. Brosur yang diterbitkan oleh *Pipeline oil and Gas Equipment, Inc.* (2010) memberi gambaran yang jelas tentang bentuk berbagai jenis *pig*. Sebagian gambar-gambar di bawah diambil dari brosur tersebut.

Kotoran yang menempel di bagian dalam pipa sering berupa kerak yang keras. Untuk menggosok kotoran ini diperlukan ***bi directional pig***, atau terkenal dengan nama bi-di *pig* (Gambar 2.3(c)). Bentuk *pig* ini seperti kelos benang, dengan bagian sumbu terbuat dari logam dan bagian piringan terbuat dari polimer yang lentur namun kuat.

Seringkali dalam pipa dijalankan dua atau lebih fluida yang berbeda, tetapi masing-masing tidak diperbolehkan untuk saling bercampur, sehingga harus disekat dengan baik. Penyekatan dapat dilakukan dengan bi-di *pig*, atau jenis *pig* lain yang disebut *sphere*. Contoh *sphere* dapat dilihat dalam Gambar 2.3(d).



Gambar 2.3 Bentuk dasar *pig*

Sumber : *Pipeline Pigging Products* (2004) dan *Pipeline oil and Gas Equipment, Inc.* (2010)

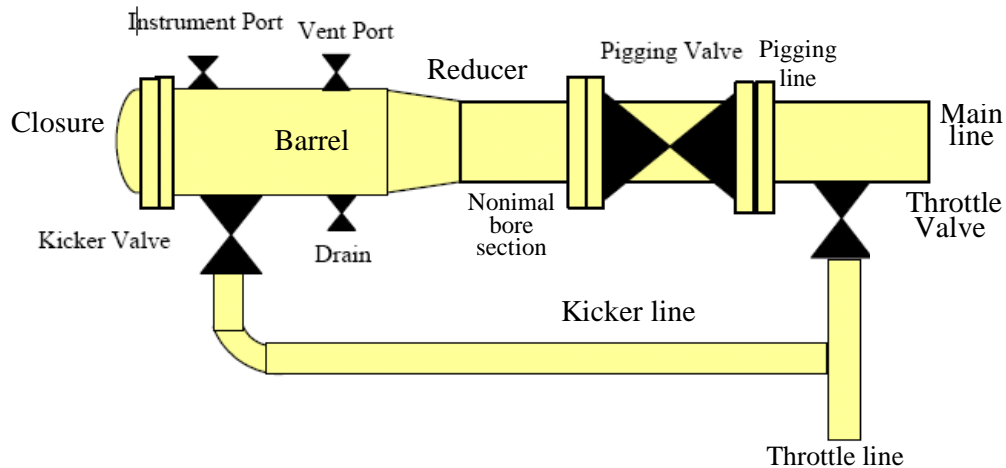
## 2.4 Alat Peluncur dan Penerima *Pig*

Perancangan untuk meluncurkan *pig* didasarkan kepada ASME B31.4 serta B31.8. Untuk membuat *pig* meluncur mengikuti aliran fluida dalam pipa tidaklah mudah. Perlu keterampilan khusus untuk menjalankan proses *pigging*, perlu koordinasi yang baik antar personal agar proses berjalan baik, dan perlu perangkat khusus untuk memasukkan *pig* ke dalam sistem perpipaan dan mengeluarkannya kembali tanpa mengganggu operasi pengaliran fluida yang dilajani oleh sistem perpipaan. Alat ini disebut *pig launcher* (peluncur *pig*) serta *pig receiver* (penerima *pig*). *Pig launcher* dan *pig receiver* sebenarnya adalah benda yang bentuknya identik, hanya fungsinya yang berbeda. Keduanya biasa disebut sebagai *pig trap*.

Alat peluncur *pig* dirancang untuk memasukkan *pig* dengan mudah, maka badan launcher yang dinasuki *pig* diperbesar antara 10-15% dari diameter pipa. Badan *pig trap* sendiri terdiri dari:

- (1) *Closure*, berupa tutup yang menyerupai pintu berbentuk bulat
- (2) *Barrel*, adalah bagian *pig trap* yang membesar untuk menginisiasi peluncuran *pig* di *pig receiver* dan akhir perjalanan *pig* di *pig launcher*. Bagian ini dibuat membesar untuk memudahkan penanganan keluar-masuknya *pig*. Secara kasar perbesaran *barrel* adalah sebagai berikut :
  - (a) Jalur pipa berdiameter kurang dari atau sama dengan 10 inci perbesarannya 2 inci
  - (b) Jalur pipa berdiameter 12 sampai dengan 26 inci perbesarannya 4 inci
  - (c) Jalur pipa berdiameter lebih dari atau sama dengan 28 inci perbesarannya 6 inci
- (3) *Reducer*, berupa corong yang menghubungkan bagian dengan diameter sebesar *pig trap* dengan bagian yang berdiameter sama dengan pipa utama. Bentuk *reducer* ada dua macam, yang pertama berupa *concentric reducer*, yang kedua berupa *acentric reducer*. Pada masa kini bentuk *acentric reducer* lebih disukai, karena jalannya *pig* melalui *reducer* jenis ini lebih mulus (*smooth*) dan tidak menemui hambatan berupa “*grenjulan*”.
- (4) *Nominal bore section*, merupakan bagian setelah *reducer* dan sebelum *pigging valve* yang diameternya sama dengan diameter sistem perpipaan utama.
- (5) *Pigging line*, merupakan bagian setelah *pigging valve* sampai sambungan *T-joint*.

Ilustrasi bentuk *pig trap* seperti terlihat dalam Gambar 2.4 yang diambil dari PPSA (2009) berikut ini.

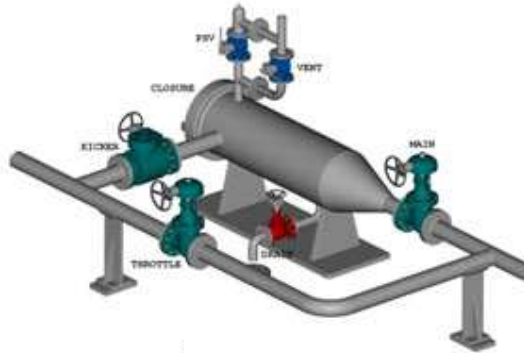


Gambar 2.4. *Pig launcher*  
Sumber : PPSA (2009)

*Pig launcher* dilengkapi dengan berbagai aksesoris. Katup yang digunakan untuk mengatur arah aliran ada 3 buah, yaitu :

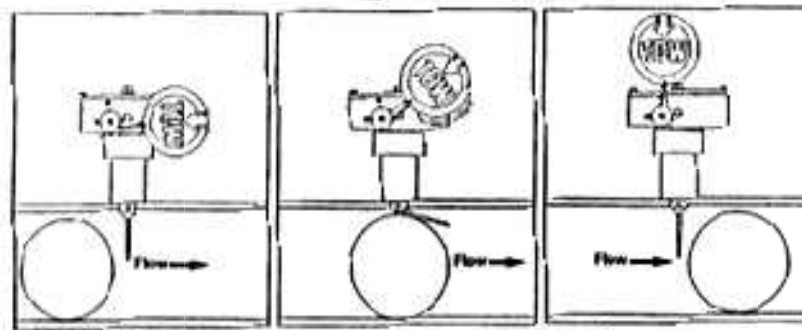
- (1) *Pigging valve*, terletak antara *pig trap* dengan jalur pipa utama. *Valve* ini dilewati *pig* saat meluncur, biasa disebut juga sebagai *isolation valve*
- (2) *Mainline valve*, atau biasa juga disebut sebagai *bypass* atau *throttle valve* berfungsi untuk mengalirkan fluida tanpa melalui *pig trap*. *Valve* ini pada hakekatnya merupakan *valve* yang mengalirkan fluida pada kondisi normal jika tidak sedang dilakukan proses *pigging*.
- (3) *Kicker valve*, mengalirkan fluida ke arah “belakang” *pig* pada saat *pig* berada di *pig launcher* serta di bagian “depan” *pig* pada saat berada di *pig receiver*. Fungsi aliran melalui *valve* ini adalah untuk menendang *pig* agar mulai berjalan di *pig launcher*, serta membuat aliran sementara antara jalur pipa utama dengan jalur pipa berikutnya dalam *pig receiver*. Dalam *pig receiver*, *valve* yang menempati posisi ini biasa disebut juga sebagai *bypass valve*.

Jika digambarkan secara 3 dimensi, rangkaian *pig launcher* terlihat seperti Gambar 2.5 berikut.



Gambar2.5. Sistem perpipaan di sekitar *pig launcher*  
Sumber : PPSA (2009)

*Pig launcher* dan *pig receiver* dilengkapi dengan *pig signaller*, yaitu suatu alat yang dapat mengindikasikan apakah *pig* sudah melewati titik pengamatan atau belum. *Pig signaller* dapat dipasang di *pigging line* atau di pangkal jalur pipa utama, segera setelah akhir *pig trap*. Ilustrasi cara kerja *pig signaller* seperti terlihat dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Pig signaller*  
Sumber : PPSA (2009)

Untuk melakukan *pigging*, ditempuh langkah prosedural yang tidak boleh dilanggar. Sebagai contoh, urutan prosedur peluncuran *pig* dalam *pig launcher* untuk sistem cairan seperti dipresentasikan oleh Girard (2003), selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran D.

## **2.5 Foam Pig**

Tinjauan yang lebih khusus perlu diberikan terhadap *foam pig*, sebagai bahan uji yang dipakai dalam penelitian ini. Pemakainnya yang intensif dalam dunia perpipaan menjadikan *foam pig* layak dipilih sebagai obyek pengamatan yang menarik.

### **2.5.1 Ciri Umum Foam Pig**

*Pig* ini berjalan melewati pipa dengan dorongan cairan atau gas, dan menjalankan tugas seperti penghilangan air, pembersihan, atau separasi produk. Badan *pig* terbuat dari busa *urethane* khusus yang bersifat fleksibel dan kuat. Struktur busa yang bersifat *open cell* memungkinkan terjadinya penyamaan tekanan melalui badan busa. *Pig* ini dapat berubah bentuk sesuai dengan penyempitan ukuran pipa. Lapisan elastomer biasa ditambahkan diluar badan *pig*, untuk menambah ketahanan terhadap gesekan dan kemampuan penyekatan.

### **2.5.2 Sejarah Foam Pig**

Jika dirangkum dari tulisan Cordel dan Panzant (1990) serta Tiratsoo (1992), sejarah penggunaan *pig* yang paling awal sulit ditentukan, tetapi setidaknya dapat ditelusuri dari paten yang dikeluarkan tahun 1954 untuk industri susu. Sebuah silinder busa dengan densitas rendah disisipkan dalam kondisi vakum ke dalam sistem pengolahan susu. Benda ini dapat menghilangkan cairan dan proses pembersihan peralatan semakin efisien. Salah satu dari ujung silinder diberi lapisan karet, dan bertindak sebagai penyekat untuk melawan vakum. Silinder yang diberi lapisan ini selanjutnya dikenal sebagai “*swab*” dan berikutnya dipakai juga untuk aplikasi pada pipa bertekanan. *Pig* semacam ini bekerja cukup baik untuk pembersihan ringan dan operasi jarak pendek, tetapi jika dipakai untuk aplikasi lebih berat akan cenderung sobek, sehingga pemakaiannya terbatas.

Pada tahun 1960 kebanyakan perusahaan minyak memerlukan *pig* yang bersifat fleksibel yang dapat menghilangkan bakteri anaerobik. Tikungan pendek bersudut 90° dalam perpipaan tidak dapat dilalui dengan baik oleh *pig* berjenis *sphere* dan *mandrel*, sedangkan *low density swab* tidak mampu membersihkan deposit dengan memuaskan. Perusahaan minyak mencoba produk yang terbuat dari *poyether* dan sistem busa *open cell*. Material yang dipakai hampir sama fleksibelnya dengan *soft foam* yang dipakai dalam

*swab*, tetapi mempunyai kekuatan dan ketahanan yang baik. Busa dengan densitas lebih tinggi dicetak dalam bentuk seperti peluru. Hidung dari *pig* berbentuk parabola, untuk mengantisipasi adanya belokan sepanjang perjalanan *pig*, sedangkan bagian belakangnya berbentuk cekung seperti punggung sebuah mangkuk, untuk menambah kemampuan penyekatan.

Bentuk pengembangan dari *swab* dinamakan sebagai *polly pig*. Jenis *pig* ini dapat menyesuaikan diri dengan sistem dan menghilangkan deposit dari pipa tanpa kehilangan penyekat (*seal*) atau menyumbat pipa yang berbelok tajam. Evolusi lanjutan dari *foam pig* adalah penambahan lapisan eksternal. Sistem *foam* yang tersedia di tahun 1960 bersifat tidak terlalu awet dan cenderung sobek jika terkena kondisi penuh tekanan dalam pipa lintas daerah. Untuk memperkuat buasa, *polyurethane elastomeric coating* yang bersifat fleksibel diaplikasikan tubuh *foam*. Bagian basis diberi lapisan untuk meminimalisasi “*by pass*” melewati tubuh *pig*, dan di bagian hidung diberi lapisan untuk menahan *pig* dari kerusakan pada saat melewati belokan pipa. Permukaan tubuh *pig* diberi lapisan berpola spiral untuk menambah ketahanan *pig* selama beroperasi, dilain fihak lebih mengefisienkan pengusapan (*wipe*) bagian dalam pipa. Untuk meningkatkan kemampuan penyekatan, lapisan berbentuk spiral dipasang ganda dengan arah berbalikan, membentuk pola anyaman “*criss-cross*”. Tekanan dari belakang membuat *pig* menyempit ke arah panjangnya, tetap melebar ke arah diameternya. Hal ini akan menambah kemampuannya dalam membersihkan pipa.

### 2.5.3 Desain *Foam Pig*

*Foam pig* atau *polly pig* dibuat dalam berbagai desain dan ukuran. Kebanyakan berbentuk peluru dengan lapisan elastomer di pantatnya untuk menciptakan penyekatan maksimum supaya dapat melawan gaya dorong. Beberapa diantaranya dilengkapi dengan lapisan di permukaan badannya untuk meningkatkan daya sekat serta kapabilitas pengusapannya, dan untuk menahan sobekan. Beberapa model khusus dilengkapi dengan material abrasif supaya membantu proses pembersihan serta pengerokan (Cordel dan Panzant, 1990).

Normalnya keseluruhan panjang *pig* sama dengan 1,75 sampai 2 kali diameternya, dengan bagian yang berupa silinder sepanjang 1,5 kali diameter. *Foam pig* dibuat dengan diameter mulai dari 0,25 *inch* sampai 108 *inch*, dengan selang 0,125 *inch* sampai diameter 12 *inch*.



Tubuh busa dibuat dari campuran beberapa komponen resin *urethane*, dengan kondisi yang terkontrol; campuran itu selanjutnya dituang ke dalam cetakan. Pada saat resin bereaksi secara kimia, campuran akan mengembang seperti kue, karena adanya pelepasan molekul gas. Hal ini merupakan kombinasi dari pengembangan material dan kantong gas yang membentuk struktur open-cell. Dinding masing-masing sel bersifat fleksibel. Sesuai dengan paper yang diterbitkan Girard Industries (Girard, 2003), busa *foam pig* dapat digolongkan ke dalam tiga kelompok berdasar rentang densitasnya:

- (1) Densitas rendah (*swab*) 1-4 lb/ft<sup>3</sup>
- (2) Densitas medium 5-7 lb/ft<sup>3</sup>
- (3) Densitas tinggi 8-10 lb/ft<sup>3</sup>

Densitas numerik yang dihitung dengan rasio berat per volum dapat menyesatkan. Dianjurkan untuk menilai densitas dalam pengertian “*firmness*”. Jika densitas lebih rendah, busa akan lebih lunak, sedang busa yang mempunyai densitas tinggi bersifat lebih keras.

#### **2.5.4 Kelebihan *Foam Pig***

Menurut Cordel dan Panzant (1990), ada beberapa alasan mengapa *foam pig* dipilih dalam program *pigging*. Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dengan menjalankan *foam pig* adalah :

##### **(1) Kesetaraan dengan jenis *pig* yang lain**

Operator pembersihan pipa dapat menjalani operasi yang sama dengan *pig* konvensional yang lain. Keuntungan yang lebih utama adalah jika permukaan bagian dalam pipa tidak sama karena tidak secara rutin dilakukan tindakan *pigging*, *foam pig* dapat berjalan tanpa hambatan yang berarti.

##### **(2) Keamanan**

*Foam pig* mereduksi kemungkinan kerusakan pipa. *Pig* jenis lain yang mempunyai komponen dari besi, jika patah di tengah jalan akan menyebabkan guratan pada dinding pipa. *Foam pig* yang bersifat empuk tidak menyebabkan goresan apapun pada dinding pipa.

### **(3) Fleksibilitas**

Kompresibilitas dari *foam pig* memungkinkan penyesuaian terhadap belokan dengan radius pendek, katup yang menyempit, pipa yang bergerigi dan pengecilan ukuran pipa karena sebab lainnya. Kebanyakan *medium-density foam pig* dapat mengkerut sampai 35% dari luas permukaan melintangnya. Hal ini berarti *foam pig* berukuran 20 inch dapat menyesuaikan diri terhadap pipa 16 inch, dan *pig* ukuran 36 inch dapat melayani pipa 30 inch. *Urethane* khusus mempunyai karakter yang dikenal sebagai “*memory and resilience*”, yang menyebabkan dia kembali ke bentuk semula dan diameter aslinya setelah melewati sebuah penyempitan.

### **(4) Desain sesuai keinginan pemakai.**

Kadang operator sistem perpipaan menghadapi situasi yang unik, sehingga membutuhkan *pig* dengan kekhususan pula. Oleh karena pembuatan *foam pig* dengan cara dicetak sedangkan pelapisnya dipasang dengan metode khusus, maka cukup mudah untuk membuat *pig* dengan desain sesuai kebutuhan.

### **(5) Resiko lebih kecil akan terjadinya kemacetan**

Dengan fleksibilitas yang dimiliki *foam pig*, menyebabkan resiko yang lebih kecil akan terjadinya kemacetan saat *pig* melewati bagian dalam pipa yang bergerigi, *valve* yang menutup sebagian, serta berbagai jenis penyempitan lain. *Foam pig* dengan mudah dapat berubah bentuk untuk menyesuaikan diri terhadap penyempitan diameter. Ketika *pig* menyumbat bagian pipa tertentu, maka cenderung akan pecah jika diberi beda tekanan tertentu.

### **(6) Kemampuan membersihkan**

Sebuah *pig* pembersih yang efisien harus memenuhi dua fungsi, yaitu:

- (a) Menggosok bagian dalam pipa sehingga kotoran lepas dari dinding pipa
- (b) Mendorong kotoran keluar dari pipa.

Pembersihan bagian dalam pipa mengandung resiko dalam berbagai tingkat. Jika kotoran padat menumpuk di bagian depan *pig*, maka dapat terbentuk sumbat yang menyebabkan *pig* terhenti. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menjalankan *progressive pigging*, dimana *pig* berukuran kecil dan lunak lebih dulu dijalankan, diikuti dengan *pig* yang lebih besar dan bersifat lebih keras.

## 2.6 Karakteristik *Pig* dalam Menjalankan *Pigging*

Menurut Tiratsoo (1995) sebuah *pig* disebut baik jika dia dapat berjalan di sepanjang jalur pipa yang dibersihkan tanpa masalah, lebih baik lagi jika *pig* yang keluar dari akhir perjalanan di ujung pipa mempunyai bentuk yang masih sama dengan bentuk aslinya. Tiratsoo membandingkan kinerja antar jenis *pig* antara lain atas hal-hal sebagai berikut:

- (1) Kehilangan tekan yang ditimbulkan
- (2) Volume air atau kondensat yang dapat dihilangkan
- (3) Keawetan komponen *pig*.

Selanjutnya Tiratsoo juga mengemukakan bahwa kecepatan optimum *pig* untuk menjalankan tugasnya secara umum adalah:

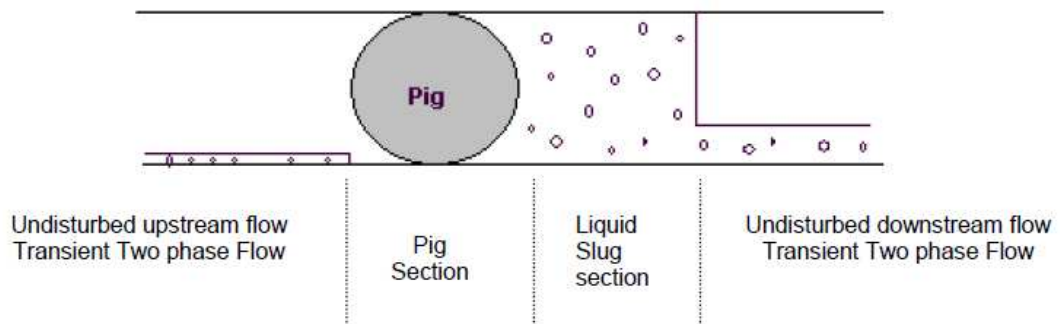
- (1) Intelligence *pig* antara 1 sampai 10 mph (0,5 sampai 4 meter/detik)
- (2) Conventional *pig* dengan aliran cairan antara 2 sampai 10 mph (1 sampai 5 m/detik)
- (3) Conventional *pig* dengan aliran gas antara 5 sampai 15 mph (2 sampai 7 m/detik)

Kecepatan *pig* akan berbeda jika *pig* digunakan untuk *commissioning*.

### 2.6.1 Kebocoran dan Penumpukan Cairan di Sekitar *Pig*

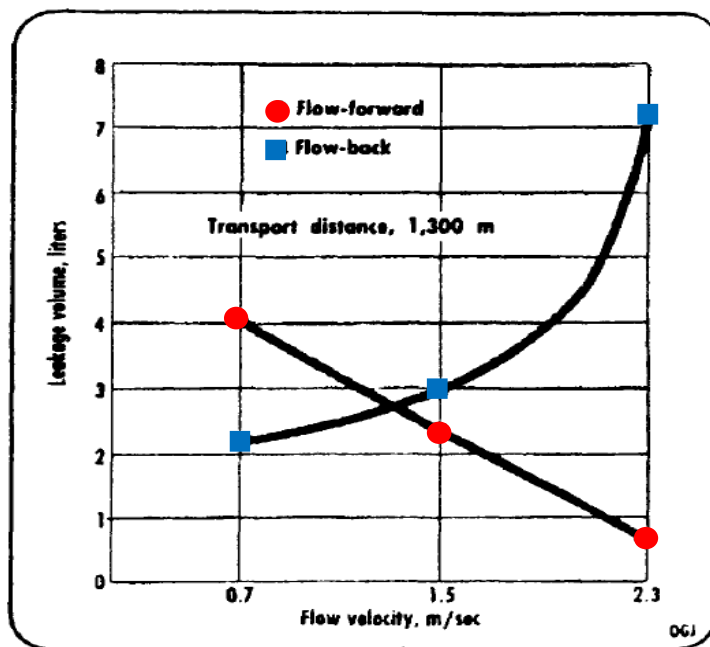
Tiratsoo (1992) mengatakan bahwa dalam proses *pigging* yang dilakukan dalam aliran fasa gas untuk membersihkan cairan selalu terjadi penumpukan cairan di depan *pig* dan kebocoran di belakang *pig*. Istilah yang diberikan untuk fenomena ini adalah flow forward untuk posisi cairan di depan *pig* dan flow back untuk posisi cairan di belakang *pig*. Klebert dan Nydal (2010) menerangkan bahwa daerah yang berisi cairan di sekitar *pig* terbagi atas 3 zona, yaitu:

- (1) *Undisturbed flow zone*, daerah yang berada jauh di depan *pig* dimana efek keberadaan *pig* belum berpengaruh
- (2) *Slug zone*, daerah yang berada tepat di depan *pig* yang merupakan tempat berkumpulnya cairan membentuk genangan yang dapat tumbuh memenuhi pipa
- (3) *Redeveloping two-phase flow zone*, daerah di belakang *pig* dimana cairan masih tertinggal dalam jumlah sangat sedikit.



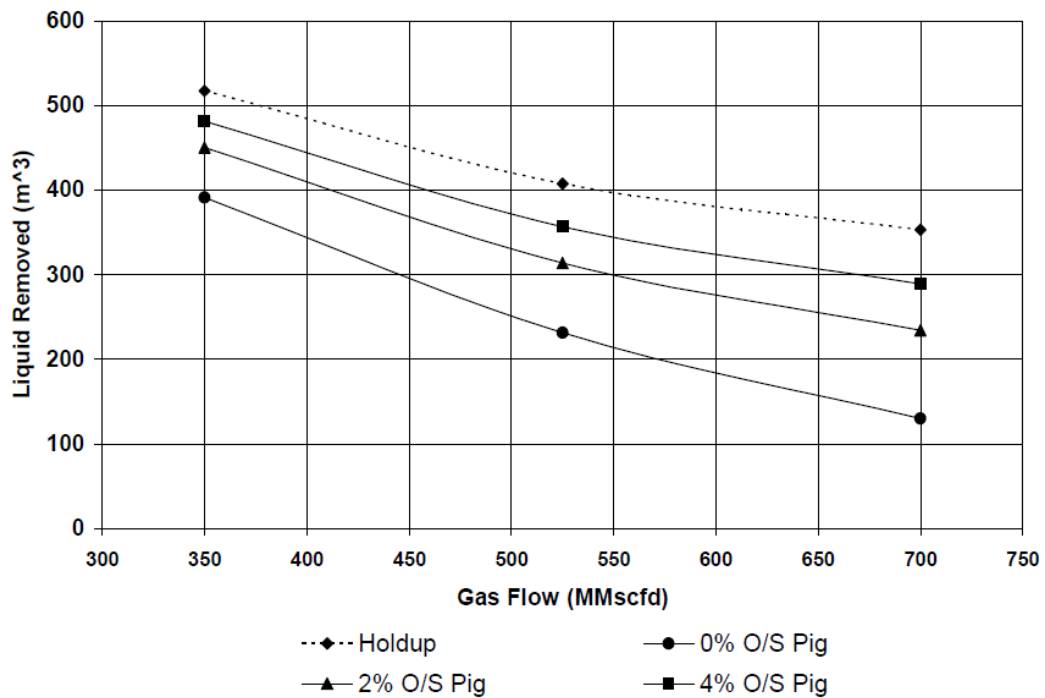
Gambar 2.7 Pembagian zona cairan di sekitar *pig*  
 Sumber : Klebert dan Nydal (2010)

Menurut Tiratsoo (1992), untuk *sphere pig* yang berdiameter 1% lebih besar daripada diameter pipa masih meninggalkan cairan sebesar 0,02 sampai 0,04% dari cairan yang dipindahkan. Dengan kenyataan seperti ini, sebenarnya *flow back* dari *sphere pig* dapat diminimalkan, tetapi tidak dapat dihilangkan. Dinyatakan juga bahwa pada kecepatan sekitar 1,3 m/detik (4,3 ft/sec) besarnya *flow back* sama dengan *flow forward*. Pada kecepatan yang lebih rendah *flow back* berkurang, akan tetapi *flow forward* bertambah. Sementara itu pada kecepatan yang lebih besar hal yang sebaliknya berlaku. Fenomena ini digambarkan dalam gambar 2.8.



Gambar 2.8. Pengaruh kecepatan *pig* terhadap besarnya zona cairan  
 Sumber : Tiratsoo (1992)

Dalam proses *pigging* misalnya untuk tujuan *dewatering* dan *condensate removal*, biasanya flow back diminimalisasi sehingga pada proses *pigging* seperti itu kecepatan *pig* dibatasi sampai 1mph (0,5 m/detik). O'Donoghue (2007) mencoba *sphere pig* untuk mengurangi beban *slug catcher* pada saat proses *pigging*. *Slug catcher* merupakan tabung penangkap *slug* pada sistem perpipaan gas. *Sphere pig* yang digunakan untuk melakukan proses itu sengaja dikurangi diameternya. Cairan yang dibersihkan oleh *pig* ternyata berkurang sehingga mengurangi efisiensi pembersihannya, tetapi dengan demikian laju cairan yang mengisi *slug catcher* menjadi berkurang yang mengakibatkan beban pompa pengaliran cairan dari *slug catcher* juga berkurang. Hasil percobaan O'Donoghue ditampilkan dalam gambar 2.9.

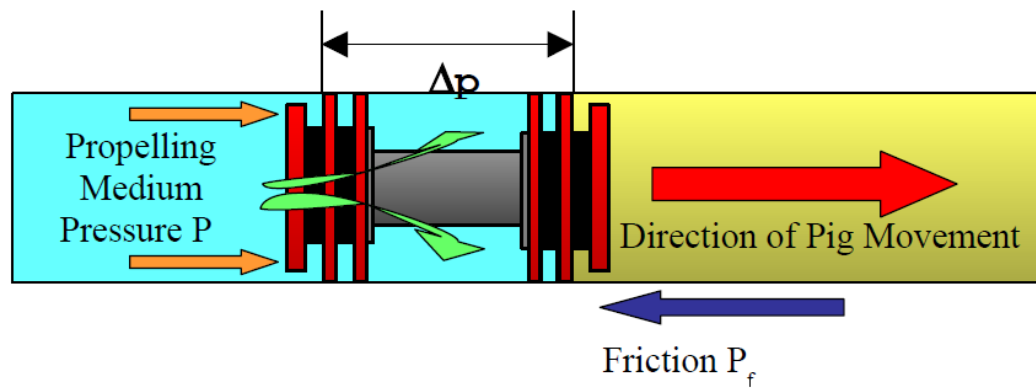


Gambar 2.9 Hubungan antara cairan yang dapat dihilangkan dengan besarnya *pig*  
Sumber : O'Donoghue (2007)

Keterangan : *Holdup* adalah jumlah cairan yang sesungguhnya, O/S (*oversize*) adalah prosen kelebihan diameter *pig* terhadap diameter dalam pipa

### 2.6.2 Kecepatan *Pig* Berjalan

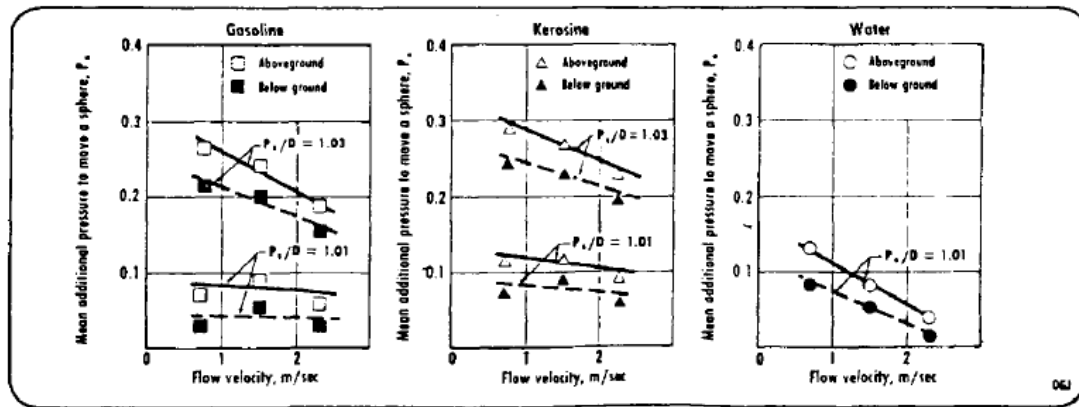
Menurut Davidson (2002) *pig* dapat berjalan karena adanya perbedaan tekanan antara bagian yang telah dijalani dan bagian yang belum dijalani oleh *pig*. Jika gaya di belakang *pig* lebih besar daripada gaya gesek yang arahnya berlawanan, *pig* akan bergerak searah dengan gaya yang diaplikasikan. Gaya yang diaplikasikan pada prinsipnya berupa tekanan oleh *propelling medium* atau fluida yang menggerakkan *pig*. Ilustrasi tentang gaya yang berperan dalam gerakan *pig* seperti yang dibuat oleh Davidson ditampilkan dalam Gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Gaya yang berperan dalam gerakan *pig*  
Sumber : Davidson (2002)

Tekanan yang dibutuhkan agar *pig* mulai bergerak dari keadaan diam disebut **break-out pressure** atau **stiction pressure**. Harga tekanan ini lebih besar daripada yang dibutuhkan untuk menjaga gerakan *pig* setelah *pig* meluncur. Adanya tekanan awal seperti ini ditandai dengan munculnya lonjakan tekanan yang diikuti oleh penurunan tekanan hingga akhirnya mencapai harga mendatar pada saat dilakukan peluncuran *pig* (Davidson, 2002). Setelah tahap ini diperlukan kecepatan gas yang cocok untuk menjaga gerak konstan *pig*.

Belokan sampai 5D, yang berarti radius beloknya 5 kali diameter pipa tidak menimbulkan perbedaan tekanan di sekitar *pig* yang bejenis *sphere* (Tiratsoo, 1995). Dengan demikian belokan pipa yang sama atau lebih besar dari 5D dapat dianggap pipa lurus. Selanjutnya dikatakan pula bahwa semakin besar kecepatan *pig* akan menyebabkan berkurangnya perbedaan tekanan yang melintasi *pig*. Fenomena hubungan tekanan dengan kecepatan *pig* diperlihatkan dalam Gambar 2.11 di bawah ini. Terlihat dalam gambar tersebut bahwa perbedaan tekanan berkurang sampai 0,7 psig (0,08 kg/cm<sup>2</sup>), pada peningkatan tekanan dua kali lipat dari 1 m/detik sampai 2 m/detik.

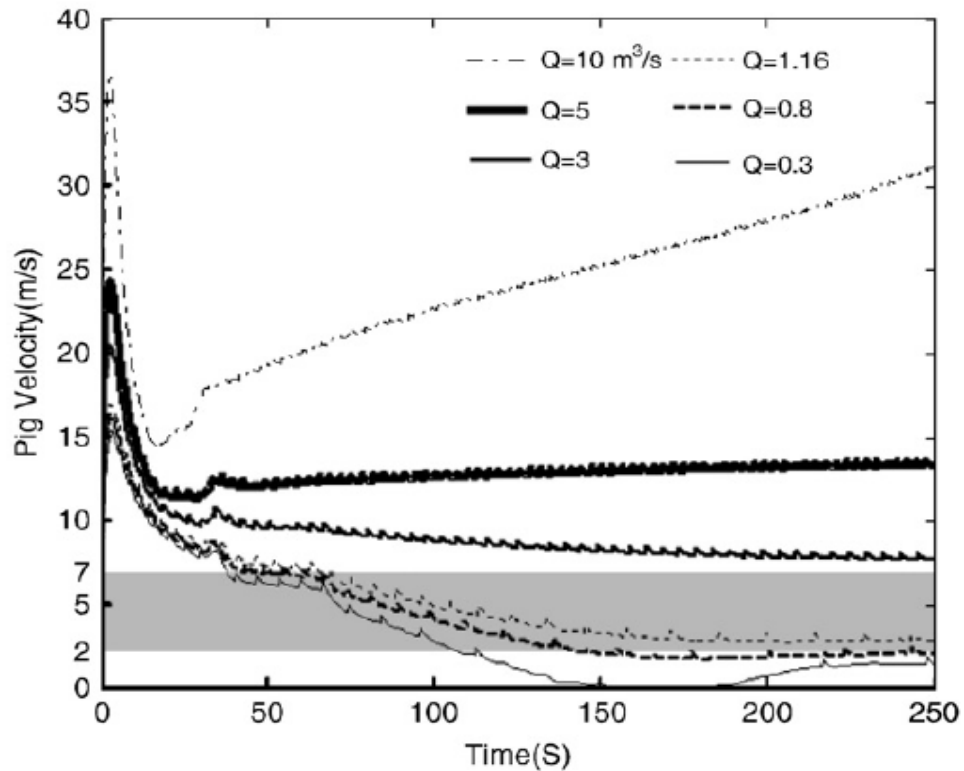


Gambar 2.11 Gambaran penurunan tekanan karena perubahan kecepatan  
Sumber : Davidson (2002)

Keterangan: Sumbu tegak adalah perbedaan tekanan (psi)  
Sumbu datar adalah kecepatan aliran (m/sec)

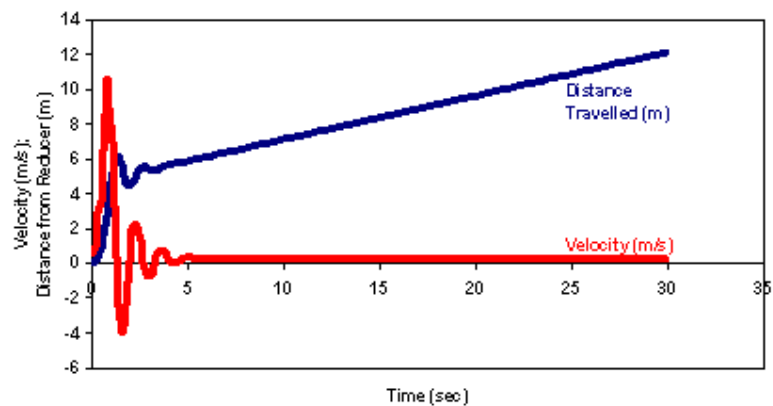
Dari gambar percobaan O'Donoghue di atas (Gambar 2.9) terlihat bahwa semakin besar diameter *pig* yang ditunjukkan dengan prosen selisih diameternya terhadap diameter pipa (O/S atau oversize) maka jumlah cairan yang dihilangkan makin bertambah. Gambar tersebut juga bercerita bahwa semakin cepat laju alir gas, maka jumlah cairan yang dihilangkan makin sedikit.

Esmaeilzadeh (2009) mencoba mengamati perjalanan *pig* dalam NAR pipeline di Iran. Pipa yang dipakai berdiameter 0,508 meter dengan panjang 2440 meter. Ternyata kecepatan *pig* sepanjang pipa sangat dipengaruhi laju alir gas pembawanya. Pada kecepatan tinggi sekali *pig* mengalami keausan pada dindingnya sehingga diameternya makin berkurang yang menyebabkan gesekan juga berkurang, selanjutnya dengan kejadian ini maka *pig* akan berjalan makin cepat. Pada laju volumetrik gas sedang, kecepatan *pig* cenderung konstan setelah waktu tertentu. Selanjutnya jika laju gas terlalu rendah, maka pada posisi atau waktu tertentu *pig* akan berhenti, kemudian gas akan terakumulasi di belakang *pig* yang mengakibatkan tekanannya bertambah sehingga dapat menjalankan *pig* kembali. Gambaran besarnya kecepatan *pig* yang dipengaruhi oleh laju volumetrik (Q) gas pembawanya, terlihat dalam Gambar 2.12. Dalam gambar tersebut kecepatan linier optimal pengaliran gas ditandai dengan arsiran abu-abu.



Gambar 2.12 Kecepatan *pig* sepanjang waktu saat melewati jalur pipa gas  
Sumber : Esmailzadeh (2009)

Penelitian yang dilakukan oleh Pipeline Research Limited (2002) menunjukkan gerak *pig* saat sesudah melewati perubahan diameter pipa. Pada saat awal terjadi gejalak, selanjutnya setelah mencapai kestabilan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



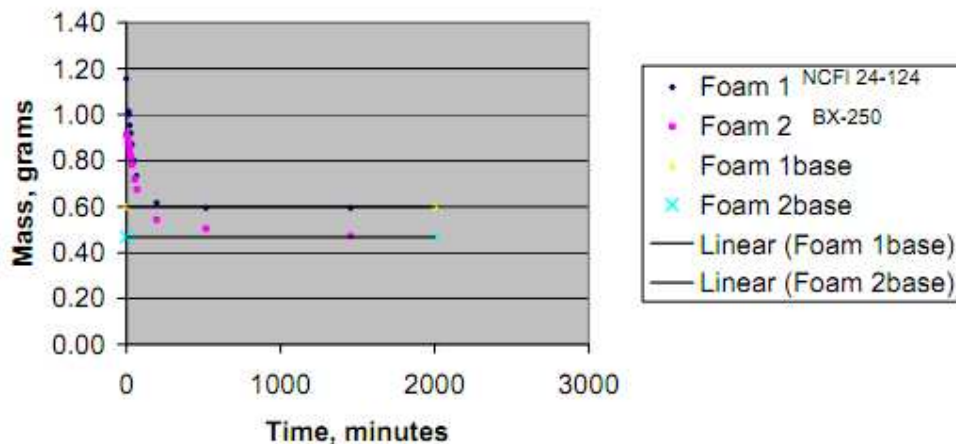
Gambar 2.13 Dinamika *pig* menurut *Pipeline Research Limited*  
Sumber : Pipeline Research Limited (2002)



Penelitian yang dilakukan oleh Esmaeilzadeh dan Pipeline Research Limited menunjukkan bahwa setelah berada dalam kondisi stabil kecepatan *pig* akan konstan sepanjang waktu pengamatan, sedangkan jaraknya berubah secara beraturan membentuk garis linier.

### 2.6.3 Kemampuan *Foam* Menyerap Cairan

Pada saat busa (*foam*) menyerap cairan, ternyata perlu waktu yang cukup lama supaya cairan terserap sampai batas maksimumnya. Glicksman (2003) melakukan percobaan terhadap dua jenis *foam*, dan grafik yang dihasilkannya menunjukkan bahwa pada menit ke 500 barulah *foam* mencapai kapasitas maksimal penyerapan cairan (Gambar 2.15).



Gambar 2.14 Berkurangnya massa cairan karena penyerapan oleh *foam*  
Sumber : Glicksman (2003)

Jika foam sendiri dianggap sebagai padatan kering dan foam yang telah menyerap air dianggap sebagai padatan basah, maka teori tentang kandungan air dalam padatan dapat dipakai sebagai dasar pengetahuan. Menurut Geankoplis (1993) air yang terkandung dalam padatan basah dapat dibagi menjadi dua, yaitu kandunga air di permukaan dan kandungan air dalam pori-pori padatan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Dalam pelaksanaan tesis ini, dibuat tiga tahapan utama yang dilakukan secara berurutan. Tiga tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- (1) Tahap perancangan alat simulasi
- (2) Tahap pembuatan dan perangkaian alat
- (3) Tahap percobaan dengan berbagai variabel

Sebagai *design basis*, perancangan alat disesuaikan dengan ukuran *pig* yang tersedia di pasaran dan memenuhi kriteria ekonomis, serta sesuai dengan skala *pilot plant*. Jika dilihat dalam literatur dan brosur yang dikeluarkan oleh perusahaan pembuat *pig*, ternyata ukuran *pig* yang terkecil ialah berdiameter 2 inci. Oleh karena itu diameter pipa yang dipilih dalam penelitian ini yaitu pipa berdiameter 2 inci. Agar dinamika gerakan *pig*, dapat diamati secara visual maka dipilih pipa berbahan transparan. Bahan transparan yang tersedia di pasaran sesuai *survey* yang telah dilakukan dan memenuhi kriteria sebagai bahan yang tahan terhadap gesekan serta tidak mudah pecah adalah akrilik (*acrylic*). Pipa akrilik transparan yang ada di pasaran mempunyai diameter nominal 2 inci, tebal 5 mm dengan diameter dalam 5 cm, dan panjang 1.8 m.

#### **3.1 Tahap Perancangan Alat Simulasi**

Alat simulasi proses *pigging* dirancang terdiri dari empat segmen terpisah, masing-masing dirancang tersendiri. Bagian tersebut yaitu :

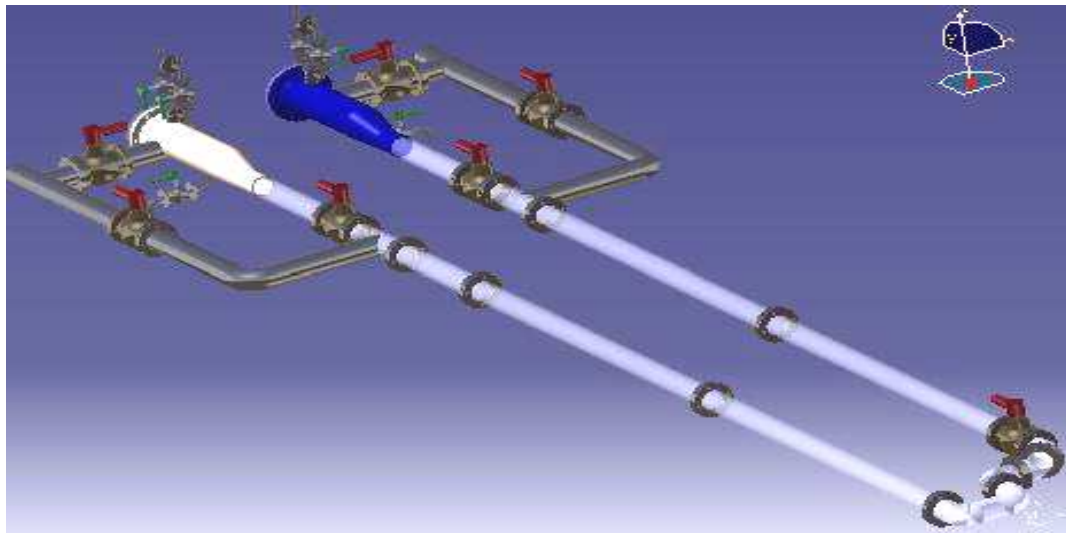
- (1) Segmen *pig launcher*
- (2) Segmen pipa lurus
- (3) Segmen pipa belok
- (4) Segmen *pig receiver*

Keempat segmen merupakan bagian yang dapat dipisah dan diubah komposisinya, sesuai dengan keperluan penelitian.

Jika keempat segmen yang menjadi bagian dari alat simulasi ini dirangkakan, diinginkan menjadi satu alat terpadu yang memenuhi syarat sebagai berikut:

- (1) Mudah dioperasikan dengan jumlah personil antara 2 sampai 4 orang.
- (2) Dapat diubah konfigurasinya dengan mudah sesuai dengan kebutuhan pengamatan atau pelatihan. Pembongkaran dan pemasangan alat harus dapat dilakukan dengan praktis tanpa melibatkan banyak tahap pekerjaan.
- (3) Keseluruhan bagian alat dan gerakan *pig* dapat diamati dengan mudah dari satu sudut pandang, jika tidak maksimal dari 2 sudut pandang yang berbeda.
- (4) Tinggi alat diatur sedemikian rupa, sehingga dinilai baik secara ergonomi dan setidaknya mudah dioperasikan oleh personal dengan ketinggian rata-rata seperti penduduk Indonesia.
- (5) Pengambilan sampel dapat dengan mudah dilakukan
- (6) *Valve* dan semua sambungan harus bersifat *piggable*, yaitu diameter bagian dalam semua *valve* dan sambungan harus sama dengan diameter bagian dalam pipa, *nominal bore section* di *pig launcher*, serta *pigging line*.

Dengan prinsip-prinsip seperti di atas, dirancanglah suatu rangkaian alat simulasi proses *pigging* dimana *pig launcher* dan *pig receiver* diletakkan berdekatan. Konfigurasi alat yang diputuskan adalah: *pig launcher* - pipa lurus untuk sampling - pipa belok - pipa lurus untuk berbalik - *pig receiver*. Rancangan awal dari rangkaian simulator fasilitas *pigging* dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Rancangan awal rangkaian sistem perpipaan lengkap

### 3.1.1 Tahap perancangan *pig launcher*

Menurut Duncan Warriner (Warriner 2008) dan membandingkannya dengan standar ANSI, desain ukuran *pig launcher* untuk nominal sistem perpipaan utama tidak ada yang untuk ukuran 2 inci. Oleh karena itu, untuk mendapatkan ukuran-ukuran dari *pig launcher* yang akan dirancang diperlukan proyeksi dari standar *ANSI class 150* (Gambar 3.2). Gambar rancangan *pig launcher/ receiver* ini telah dibuat oleh Flowmore (1999). Dari hasil proyeksi tersebut, didapatkan ukuran lengkap dari *design pig launcher* yang akan dibuat seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Table 3.1** Ukuran *Pig Launcher* Hasil Proyeksi

<i>Nominal Line Size (inci)</i>	<i>Nominal Barrel Size (inci)</i>	<b>L (inci)</b>	<b>H (inci)</b>	<b>Y (inci)</b>
<b>2</b>	<b>4</b>	<b>17 <sup>3</sup>/<sub>8</sub></b>	<b>5 <sup>1</sup>/<sub>4</sub></b>	<b>2 <sup>1</sup>/<sub>4</sub></b>

Rancangan *pig launcher* yang mengikuti ukuran dalam Tabel 3.1 dapat dilihat dalam Gambar 3.3. Penampilan tiga dimensi dari rancangan tersebut akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan tentang rancangan *pig receiver*.

**NOTES:**

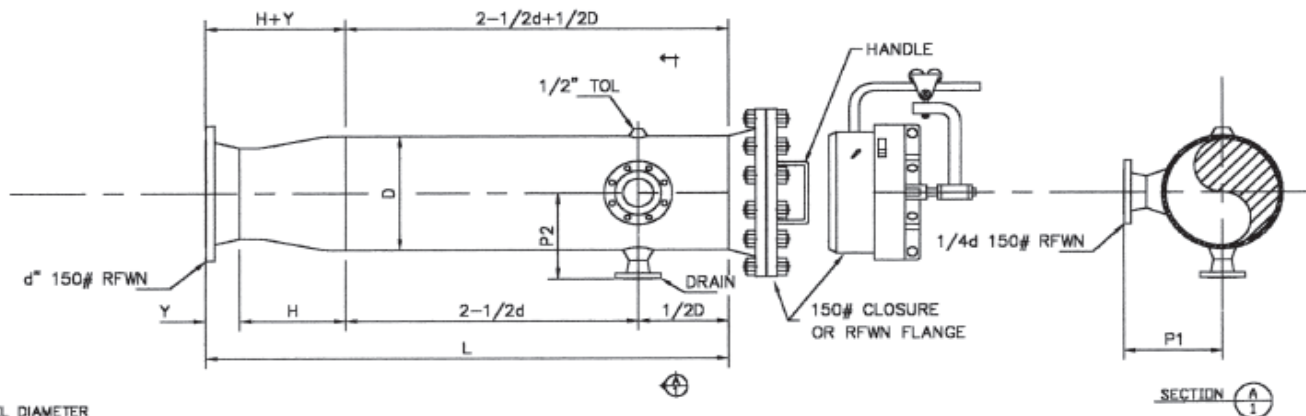
THE TRAP BARREL MUST BE AT LEAST 2" LARGER THAN THE LINE SIZE. THIS IS USUALLY ONE PIPE SIZE LARGER.  
KICKER OUTLETS SHOULD BE AT LEAST 1/4 THE DIAMETER OF THE PIPE LINE.  
ALL FLANGES AND/OR CLOSURES ARE CLASS 150#. PIPE AND FITTINGS ARE USUALLY STANDARD PIPE WALL THICKNESS.  
RECEIVERS ARE SUPPLIED WITH A SNUBBER TO MINIMIZE LINE STOPPAGE AND PIG DAMAGE IN RECEIVING OPERATIONS.



**SNUBBER**

NOMINAL LINE SIZE	NOMINAL BARREL SIZE	L	H	Y
4"	6"	23-1/16"	5-1/2"	3"
6"	8"	30-3/8"	6"	3-1/2"
8"	10"	38"	7"	4"
10"	12"	45-1/4"	8"	4"
12"	16"	58-3/8"	14"	4-1/2"
14"	16"	62"	14"	5"
18"	20"	80-1/2"	20"	5-1/2"
20"	24"	87-11/16"	20"	5-11/16"
24"	28"	104"	24"	6"
28"	32"	115"	24"	4-15/16"
30"	34"	121-3/8"	24"	5-3/8"
36"	42"	141-3/16"	24"	6-3/16"
42"	48"	183-3/4"	28"	6-3/4"
48"	56"	185-9/16"	30"	7-9/16"

50" AND ABOVE PROVIDED UPON APPLICATION.



D= BARREL DIAMETER  
d= LINE SIZE  
H= HEIGHT OF CONCENTRIC REDUCER  
Y= FLANGE LENGTH THRU THE HUB

**LAUNCHER/RECEIVER**

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF FLOWMORE SERVICES. THE INFORMATION CONTAINED HEREIN MAY NOT BE USED EXCEPT AS EXPRESSLY AUTHORIZED BY THE COMPANY. COPIES ARE NOT TO BE MADE WITHOUT WRITTEN PERMISSION OF THE OWNERSHIP OF THE COMPANY.

**REVISIONS**

NO.	DATE	BY
1		
2		
3		

**Flowmore  
Services a  
Division of  
P.P.P.**



P.O. Box 692005-300  
Houston, Texas 77269  
Ph 1 (800) 356-9667  
Ph 1 (281) 351-7979  
Fax 1 (281) 255-2365  
Telex 710112507

**FINISH: RED SHOP PRIMER**

**MATERIAL: AS NOTED IN THE PROPOSAL**

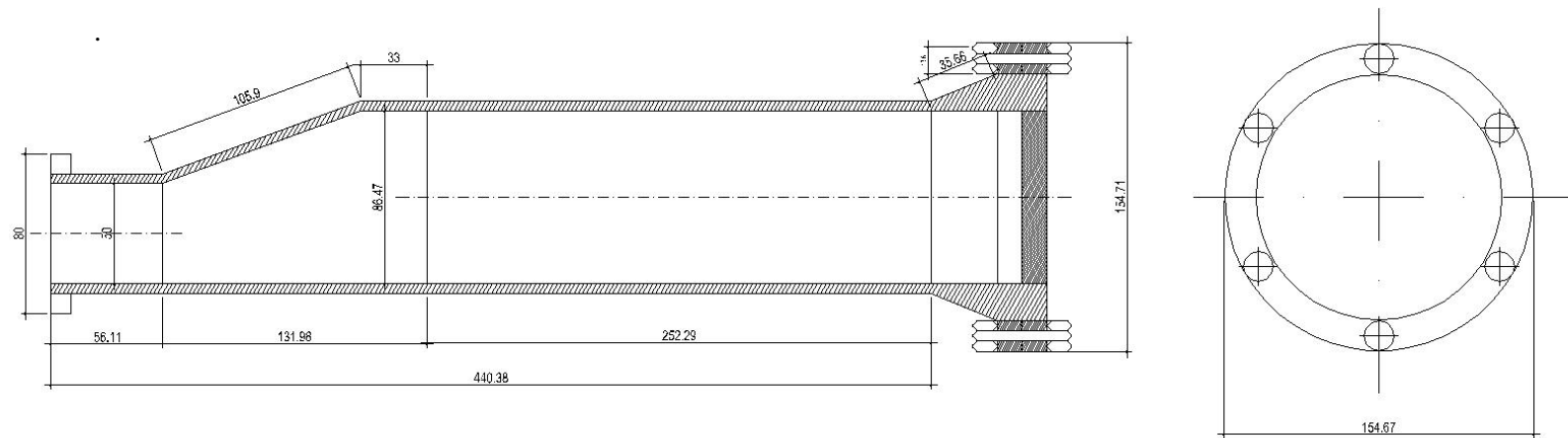
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

DIMENSIONS IN INCHES	
TOLERANCES:	
DECIMAL	±.010
±.005	±.010
FRACTIONAL	± 1/32"
ANGULAR	± 1/2°

**150# STANDARD LAUNCHER/RECEIVER**

DRAWN BY: PLP	DATE: 2/4/99	SCALE: NONE
CHECKED BY:	DATE:	DWG NO.:
APPROVED BY:	DATE:	PPP-150L

**Gambar 3.2 Standar ANSI untuk pig Launcher**



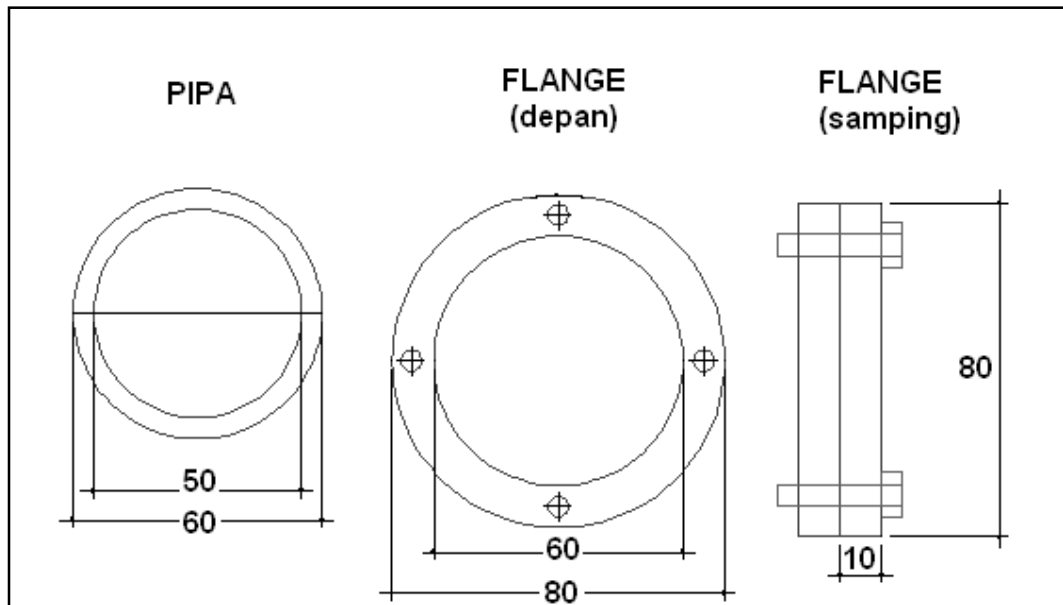
**Gambar 3.3** Gambar Skematik *Pig Launcher*  
 Keterangan : semua ukuran dinyatakan dalam satuan milimeter

### 3.1.2 Tahap perancangan segmen pipa lurus

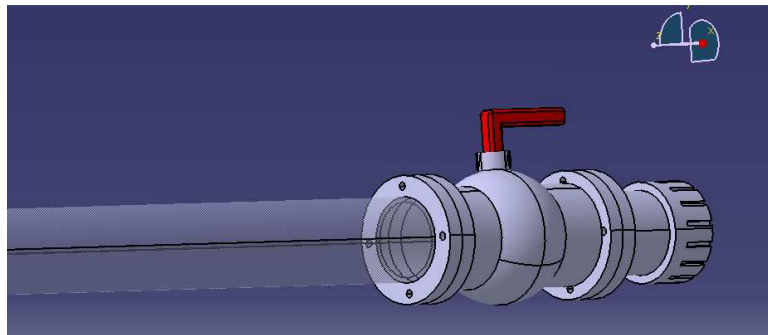
Rancang bangun alat yang berupa pipa lurus melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

- 1) Menentukan jenis material dan ukuran yang digunakan, meliputi panjang, diameter dan ketebalannya, serta ketersediaan bahan dengan jenis dan ukuran tersebut di pasaran. Dari hasil *survey* pasar didapat bahan pipa seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Bahan akrilik ini dibuat dengan cara menghembuskan cairan akrilik ke dalam cetakan kontinyu, sehingga dapat disetarakan dengan *drawn tubing* dalam daftar kekasaran menurut Geankoplis (1993). Harga kekasaran ini memang berbeda dengan pipa baja karbon, tetapi pada kenyataannya dalam sistem perpipaan yang dipakai sekarang banyak diaplikasikan *internal coating* yang halusnnya sama dengan akrilik. Dengan demikian sifat gesekan pipa diharapkan masih mirip dengan kenyataan.
- 2) Menentukan jenis sambungan pipa. Untuk sambungan antar segmen dipakai jenis *union* dengan diameter dalam sama dengan pipa lurus agar mudah dibongkar pasang. Sambungan antar pipa lurus yang digunakan untuk menyamakan posisi sambungan dipilih berupa sambungan *flange* agar menekan biaya, sambil menambah variasi sambungan.
- 3) Menentukan lokasi dan ukuran ruas untuk sampling. Untuk mengefisienkan penggunaan bahan, panjang ruas sampling ditentukan sama dengan panjang satu batang pipa yang tersedia di pasaran. Selanjutnya di kedua ujung ruas sampling tersebut diberi valve yang bersifat *piggable*. Jenis *valve* yang cocok untuk memenuhi kriteria ini adalah *ball valve* dengan diameter dalam pada saat dibuka penuh (*fully opened*) sama dengan diameter dinding dalam pipa yaitu sebesar 5 cm. Di bagian dalam *valve* tersebut tidak diperbolehkan ada tonjolan yang dapat mengganggu jalannya *pig*.

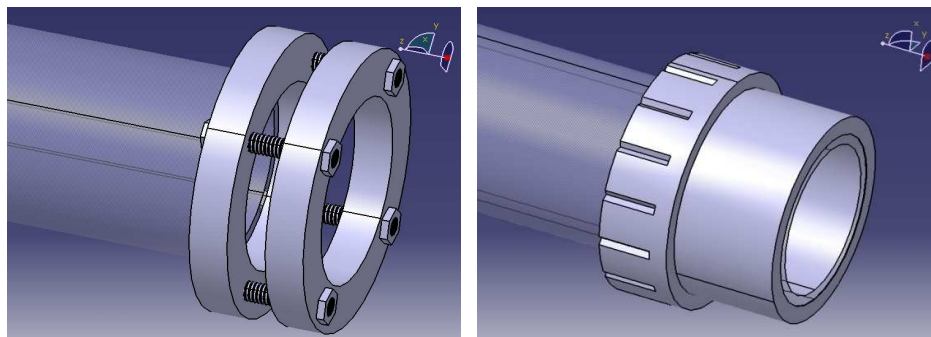
Gambar teknik perancangan segmen pipa lurus dari alat simulasi *pigging* ini dapat di lihat pada gambar 3.4 s/d 3.6.



**Gambar 3.4** Rancangan dua dimensi pipa dan *flange*  
Keterangan : semua ukuran dinyatakan dalam satuan milimeter



**Gambar 3.5** Pipa Lurus dengan *Ball Valve*

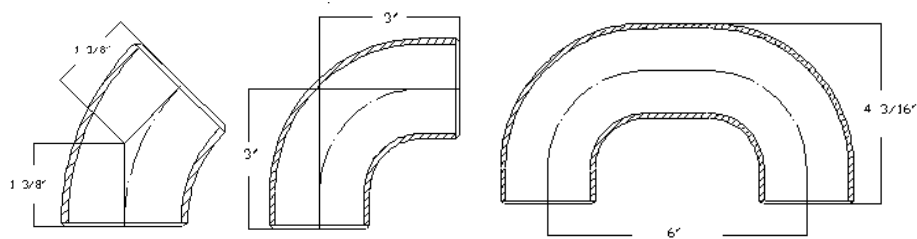


**Gambar 3.6** Pipa lurus dengan *flange* serta pipa lurus dengan *union*



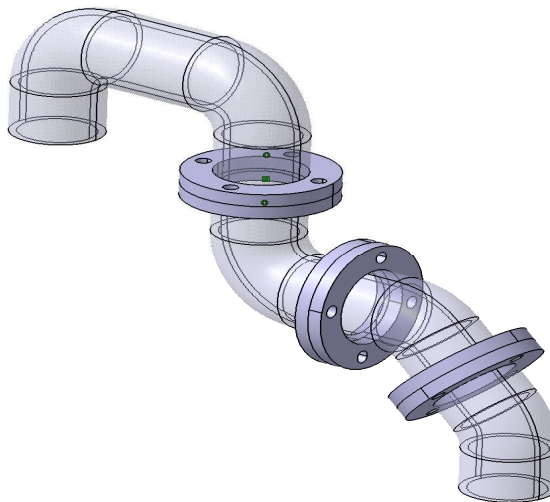
### 3.1.3 Tahap perancangan pipa belok

Rancangan perpipaan belok mengacu terhadap ASME B31.8 tentang *Gas transmission and Distribution Piping System* dan *Piping Handbook* khususnya tentang *Process Glass Pipe and Fittings*. Komponen-komponen sistem perpipaan belok yang akan dirancang seperti *elbow 45°*, *elbow 90°*, dan *U turn*. Adapun rancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.7** *Elbow 45°* , *Elbow 90°* dan *U turn*

Pada prinsipnya rangkaian pipa belok harus dapat digunakan untuk membalik arah pig pada saan meluncur, sehingga konfigurasinya disusun: *ellbow 45°* - *ellbow 45°* - *ellbow 90°* - *U turn*. Sebagai ilustrasi, rangkaian pipa belok tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3.8 di bawah ini. Antar bagian belok disambung dengan memakai *flange*. Selanjutnya untuk menyesuaikan panjang segmen belok di sisi kiri dan kanan, maka di lokasi akhir U-turn ditambah dengan pipa lurus.

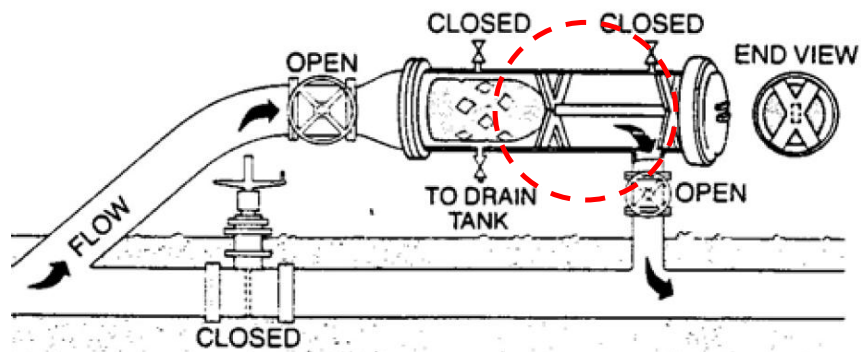


**Gambar 3.8** Rangkaian Sistem Perpipaan Belok

### 3.1.4 Tahap perancangan *pig receiver*

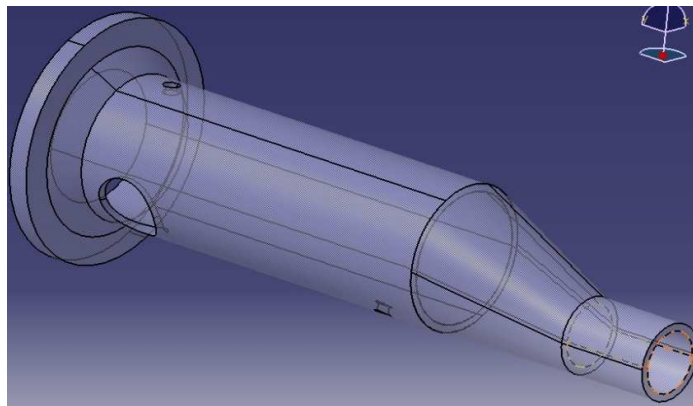
Perancangan *pig receiver* dilakukan sama dengan perancangan *pig launcher*, karena keduanya memang merupakan benda yang berbentuk sama. Perbedaan diantara keduanya hanyalah pada:

- (1) Posisi lubang untuk *kicker line*. Khusus untuk alat simulator dalam penelitian ini, letak lubang ini terletak berlawanan arah terhadap letak lubang yang sama pada *pig launcher*, untuk memenuhi tuntutan rancangan keseluruhan. Digambarkan bahwa letak *kicker valve* serta *throttle valve* harus di sisi luar alat, untuk memudahkan pengoperasiannya.
- (2) Adanya *pig support*. Komponen alat ini ditujukan untuk menahan laju *pig* yang datang, agar tidak terlalu kencang. Jika kecepatan *pig* datang terlalu kencang dan langsung membentur *closure*, dapat mengakibatkan kerusakan yang fatal. Gambaran *pig support* dalam *pig receiver* dapat dilihat pada daerah yang dilingkari dalam Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** *Pig Support* dalam *Pig Receiver*

Dari gambar dua dimensi yang telah dibuat dalam perancangan *pig launcher*, selanjutnya dibuat gambar rancangan tiga dimensi seperti terlihat dalam gambar 3.10.



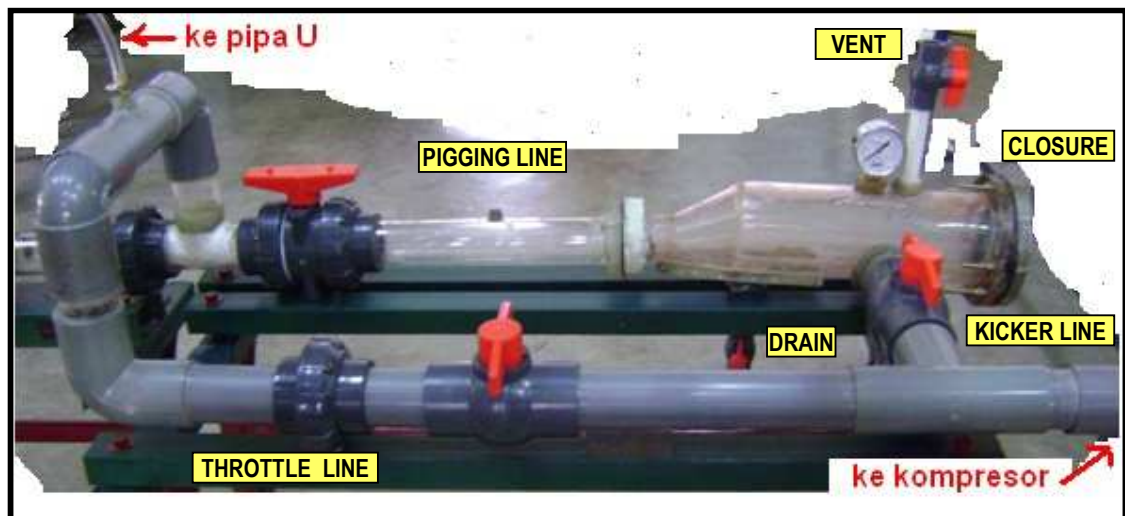
**Gambar 3.10** Desain Tiga Dimensi *Pig Receiver*

### 3.2 Tahap Pembuatan dan Perangkaian Alat

Pembuatan *pig launcher* dan *pig receiver* dilakukan dengan metoda pencetakan. Selanjutnya dilakukan perangkaian dengan komponen pendukung lainnya. Komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut:

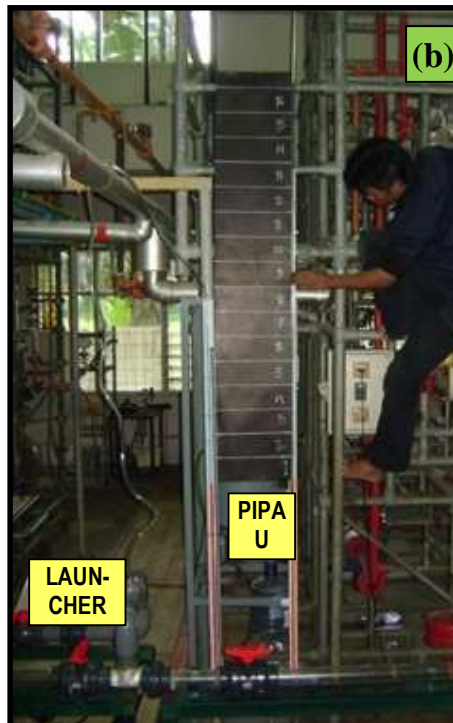
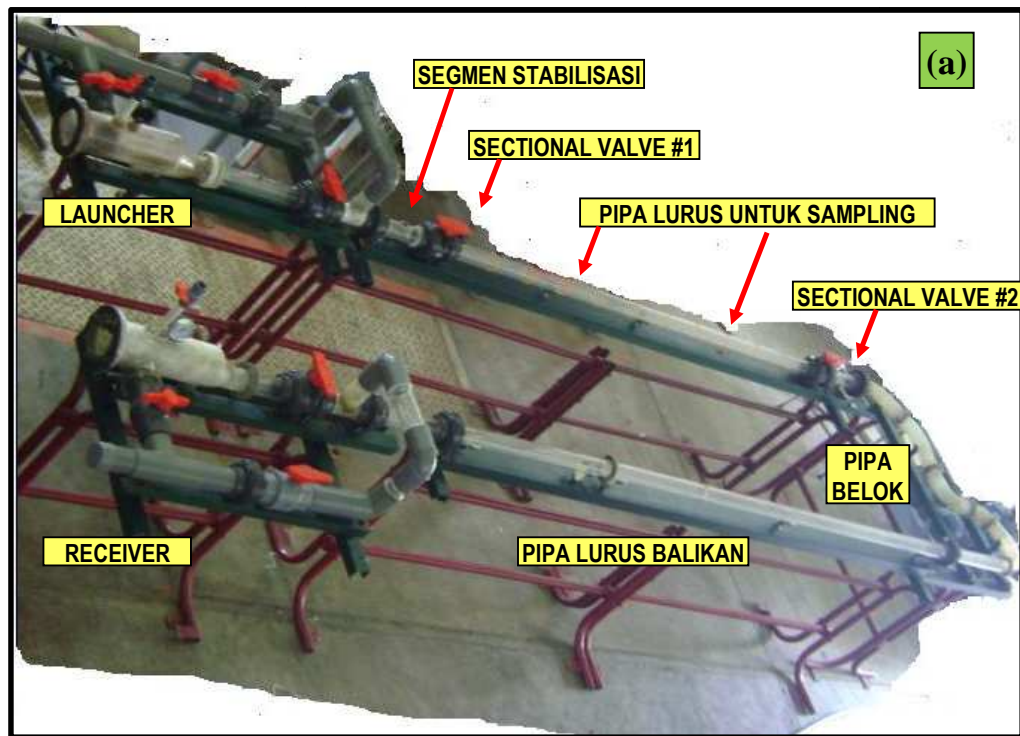
- Jalur perpipaan untuk yang tidak dilalui *pig*, ditentukan berbahan PVC
- Berbagai macam *valve* yang terdiri dari *throttle valve*, *main valve*, *kicker valve*, *drain valve*, dan *venting valve*
- Barometer, *closure* dan penyangga

Sambil melakukan pembuatan alat, dilakukan juga penyempurnaan desain sehingga dihasilkan alat yang sesuai dengan kebutuhan pengamatan. Hasil pembuatan *pig launcher* atas dasar rancangan telah disempurnakan tampak dalam Gambar 3.11.

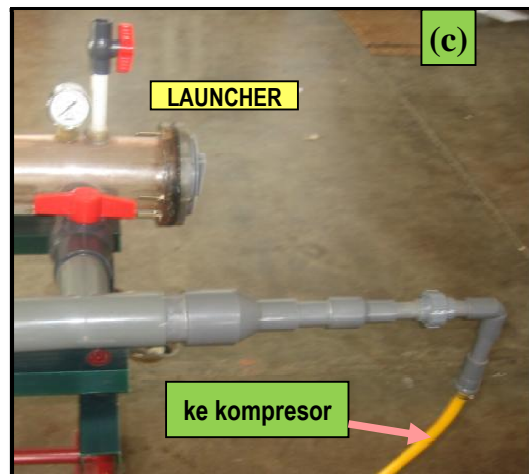


**Gambar 3.11** Hasil pembuatan *pig launcher* beserta rangkaian perlengkapannya

Setelah semua segmen selesai dibuat, selanjutnya dilakukan perangkaian alat sesuai rencana. Hasil perangkaian keseluruhan segmen tampak seperti gambar 3.12. Langkah lanjut dari perangkaian alat ini adalah membuat hubungan dengan udara tekan di arah masukan *throttle line* dari *pig launcher* (gambar 3.11, kanan bawah) serta pemasangan pipa U besar untuk mengukur tekanan awal yang dibutuhkan untuk memulai peluncuran *pig* (gambar 3.11, kiri atas). Antara awal *main line* dengan pipa lurus diberi tambahan segmen pipa yang berguna untuk mengamati stabilitas jalannya *pig*.



- (a) Tampak keseluruhan rangkaian alat  
 (b) Hubungan alat dengan pipa U ukuran besar  
 (c) Hubungan alat dengan sumber udara tekan



**Gambar 3.12** Hasil perangkaian simulator fasilitas *pigging*

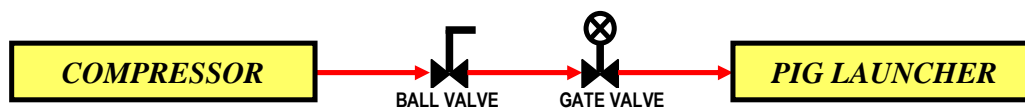
### 3.3 Tahap Penyusunan Prosedur Pengamatan

Prosedur pengamatan disusun untuk memaksimalkan kemampuan alat yang ada, sesuai data yang ingin diperoleh dan fenomena yang akan diamati. Sesuai dengan pengamatan aliran fluida pada umumnya, variabel yang paling baik untuk diamati adalah tekanan dan laju. Laju sendiri dapat diturunkan menjadi waktu tempuh tiap jarak tertentu, atau jika laju yang diinginkan merupakan laju alir, maka dapat diturunkan menjadi massa atau volum per satuan waktu.

Variabel-variabel pengukuran yang tampaknya sederhana seperti di atas dapat dieksploitasi untuk mengamati berbagai karakteristik proses *pigging* menggunakan *foam pig*. Untuk menyusun prosedur ini diperlukan pengetahuan dasar fisika tentang gerak. Prosedur yang ditampilkan hanya merupakan prosedur utama sebagai pendekatan untuk mencapai tujuan, sesuai dengan permasalahan yang ada.

Oleh karena peluncuran *pig* dari *pig launcher* dan penerimaan *pig* di *pig receiver* dilakukan berulang-ulang, maka diperlukan penyusunan prosedur peluncuran dan penerimaan *pig* yang berlaku standar untuk semua langkah. Peluncuran dan penerimaan *pig* tentunya didahului dengan pemasukan *pig* ke dalam *pig launcher* dan pengeluaran *pig* dari *pig receiver*.

Prosedur yang standar juga diperlukan untuk pengaturan kecepatan awal udara. Pengaturan kecepatan awal udara dilakukan dengan dua buah valve yang bekerja secara serial (Gambar 3.13). Valve yang pertama bekerja untuk menentukan besarnya laju alir berupa *gate valve*, sedangkan valve yang kedua hanya untuk menentukan aliran udara mati atau hidup, dan untuk itu dipilih sebuah *ball valve*.



Gambar 3.13 Skema pengatur aliran udara

Sepanjang pengamatan berlangsung diasumsikan otomatis yang terpasang dalam sistem kompresi dapat bekerja dengan baik dan tidak ada masalah dengan sistem kompresi udara. Dengan demikian tidak diperlukan prosedur untuk menyalakan dan mematikan kompresor, sementara sambungan pipa antara kompresor dengan *pig launcher* terus-menerus terpasang.

Dengan adanya langkah yang selalu berulang dalam proses *pigging*, maka disusun empat prosedur standar yang selanjutnya disebut sebagai prosedur A, B, C, dan D, dengan uraian sebagai berikut:

### **Prosedur A : standar pengaturan laju alir awal udara**

- (A1) Tutup penuh *ball valve* dan *gate valve*
- (A2) Putuskan sambungan pipa dari *compressor* dengan ujung *kicker line* di *pig launcher*
- (A3) Buka *gate valve* sehingga mengalirkan udara dengan laju yang dikehendaki
- (A4) Kembali tutup penuh *ball valve*
- (A5) Hubungkan kembali pipa dari *compressor* dengan ujung *kicker line* di *pig launcher*

### **Prosedur B : standar pemasukan *pig* ke *pig launcher***

- (B1) Pastikan kondisi valve sebagai berikut:
  - (a) *Kicker valve* di *pig launcher* : tutup penuh
  - (b) *Pigging valve* di *pig launcher* : tutup penuh
  - (c) *Venting valve* di *pig launcher*: buka penuh
- (B2) Buka *closure* di *pig launcher* dengan hati-hati dari arah yang aman
- (B3) Masukkan *pig*, sehingga badan *pig* masuk ke *nominal bore section*.
- (B4) Tutup kembali *closure* di *pig receiver*

### **Prosedur C : standar peluncuran dan penerimaan *pig***

- (C1) Siapkan peluncuran *pig* dengan memastikan posisi valve sebagai berikut:
  - (a) *Throttle valve* di *pig launcher* : buka penuh
  - (b) *Kicker valve* di *pig launcher* : tutup penuh
  - (c) *Pigging valve* di *pig launcher* : tutup penuh
  - (d) *Throttle valve* di *pig receiver* : tutup
  - (e) *Kicker valve* di *pig receiver*: buka penuh
  - (f) *Pigging valve* di *pig receiver*: buka penuh
  - (g) Semua *venting valve* dan *drain valve* : tutup penuh
  - (h) Semua *sectional valve*: buka penuh
- (C2) Luncurkan *pig* dengan urutan langkah yang **tidak boleh terbalik**, sebagai berikut:
  - (i) Buka penuh *kicker valve*,
  - (ii) Tutup penuh *throttle valve*,
  - iii) Buka penuh *pigging valve* secara cepat

### **Prosedur D : standar pengeluaran pig di *pig receiver***

Dianjurkan agar pada saat akan mengeluarkan pig dari *pig receiver* aliran di udara dimatikan dahulu, namun prosedur ini disusun untuk mengeluarkan pig dengan aman tanpa mematikan aliran udara dari kompresor. Urutan langkah yang ditempuh adalah:

(D1) Lakukan perubahan posisi valve dengan urutan langkah **tidak boleh terbalik**, yaitu:

(i) *Throttle valve* di *pig receiver* : buka penuh

(ii) *Pigging valve* di *pig receiver* : tutup penuh

(iii) *Kicker valve* di *pig receiver* : tutup penuh

(iv) *Venting valve* dan *drain valve* di *pig receiver* : buka

(D2) Buka *closure* di *pig receiver* dengan hati-hati dari arah yang aman

(D3) Keluarkan pig

(D4) Tutup kembali *closure* di *pig receiver*

Sebelum dilakukan langkah pengamatan utama, terlebih dahulu dilakukan pengamatan pendahuluan untuk menentukan rentang variabel bebas yang digunakan. Prosedur pengamatan awal ini diuraikan dalam lampiran B.

#### **3.3.1 Prosedur pengamatan dinamika *foam pig***

Prosedur percobaan ini ditujukan untuk mengetahui besarnya gesekan yang terjadi pada saat *pig* berjalan, serta untuk mengetahui gaya gesekan sebagai fungsi jarak tempuh *pig*. Pertanyaan utama yang harus dijawab oleh prosedur ini adalah bagaimana gaya gesek *pig* dapat mempengaruhi gerakan fluida yang membawanya, serta apakah fungsi gaya gesek terhadap jarak tempuh *pig* dapat dirumuskan dengan persamaan matematika yang sederhana.

Fenomena yang ingin diamati hanya dibatasi untuk segmen pipa lurus. Dengan demikian susunan peralatan percobaan adalah: *launcher* - segmen pipa lurus - *receiver*.

##### **(a) Logika dasar**

Gerakan *pig* dalam pipa seharusnya memenuhi hukum dasar fisika tentang gerak. Oleh karena jalur pipa dapat dianggap sebagai garis lurus, maka gerakan *pig* kemungkinan berupa:



- (1) Gerak lurus beraturan
- (2) Gerak lurus berubah beraturan
- (3) Gerak periodik dalam lintasan lurus

Ketiga gerakan tersebut dapat diamati dengan mengamati jarak tempuh serta kecepatan *pig* sebagai fungsi waktu.

#### (b) Pengembangan peralatan

Prinsip dasar untuk pengembangan peralatan guna mengamati sifat gerak *foam pig* adalah adanya perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur jarak yang ditempuh pada saat *pig* telah bergerak pada selang waktu tertentu. Ilustrasi peralatan yang dimaksud dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 3.13** Rancangan dasar alat pemantau gerak *pig*

Sesuai dengan konsep di atas, maka dilakukan modifikasi segmen pipa lurus dalam simulator fasilitas pigging, sehingga tampak sebagai gambar berikut.



**Gambar 3.14** Ruas pipa sampel yang diberi segmen untuk memantau gerak *pig*

Untuk menentukan peralatan pengukur waktu tempuh antar ruas pipa, diperlukan percobaan awal berupa pengamatan visual jalannya *pig*. Ternyata *pig* berjalan sangat cepat, sehingga dipilih prosedur dengan cara merekam jalannya *pig* kemudian memutarinya kembali dengan *slow motion* sehingga waktu tempuhnya dapat terukur.



**(c) Penyusunan prosedur percobaan untuk pengamatan gerak *foam pig***

Prosedur ini memerlukan pengamatan awal berupa kecepatan awal udara dan tekanannya yang diperlukan untuk mulai menggerakkan *pig*. Selanjutnya kecepatan udara penggerak ini dibatasi oleh kemampuan maksimal peralatan kompresor untuk menggerakkan udara.

Setelah data awal ini diketahui, selanjutnya ditempuh prosedur utama sebagai berikut:

- (1) Jalankan prosedur A
- (2) Jalankan prosedur B
- (3) Siapkan peralatan video untuk merekam jalannya *pig*
- (6) Jalankan peluncuran dan penerimaan *pig* dengan prosedur C
- (7) Jalankan pengeluaran *pig* dengan prosedur D

Prosedur di atas dapat diulangi untuk berbagai macam harga kecepatan awal udara dengan cara mengubah besarnya bukaan *gate valve* dalam prosedur A langkah A3.

**3.3.2 Prosedur pengamatan kinerja *foam pig***

Prosedur ini disusun untuk mengamati pengaruh beberapa variabel dalam menentukan hasil dari proses *pigging*. Oleh karena fokus pengamatan dipusatkan terhadap *foam pig*, maka tolok ukur utama untuk menilai kinerjanya adalah seberapa banyak cairan yang dapat dibersihkan oleh *pig* setelah proses selesai. Selain itu terdapat tolok ukur kedua yang berlaku umum untuk semua proses, yaitu seberapa lama proses dapat diselesaikan dengan adanya pengaruh berbagai variabel.

Seperti telah diuraikan sebelumnya, maka secara ringkas dapat disebutkan bahwa tolok ukur kinerja *pig* adalah:

- (1) Jumlah cairan yang dikeringkan
- (2) Kecepatan *pig* meluncur

Kedua tolok ukur inilah yang di lapangan dijadikan sebagai ukuran baik tidaknya proses *pigging*. Pada prinsipnya dikehendaki proses *pigging* yang sebanyak mungkin menghilangkan kotoran di bagian dalam pipa, tetapi proses harus dapat berjalan secepat mungkin. Jika proses *pigging* berjalan lambat, dikhawatirkan akan mengganggu proses produksi.

Sedangkan variabel yang dapat mempengaruhi kinerja pig adalah:

- (1) Kecepatan udara awal, yang akan memberi kecepatan gerak *pig* dengan harga tertentu. Kecepatan udara awal disebabkan oleh tekanan udara awal. Tekanan udara menyebabkan adanya gaya dorong di belakang pig, yang nantinya akan mempengaruhi kecepatan pig. Dengan perubahan kecepatan awal udara yang menyebabkan berubahnya kecepatan pig, diduga kemampuan penyerapan air juga berubah.
- (2) Tingkat kebasahan bagian dalam dinding pipa, yang dianalogikan dengan jumlah cairan awal yang terdapat dalam pipa. Variabel ini selanjutnya diberi istilah “kadar air”. Makin banyak air yang terdapat dalam dinding pipa, diduga akan semakin banyak pula air yang tertumpuk di bagian depan *pig*, yang akan mengakibatkan hambatan bagi jalannya *pig*.
- (3) Ukuran *pig*, dalam hal ini diameter *foam pig*. Diameter *pig* yang lebih besar akan mengakibatkan tekanan *pig* ke dinding pipa lebih besar pula, sehingga gesekan makin besar dan mengakibatkan kecepatan *pig* terpengaruh. Makin terhimpitnya dinding pipa oleh *pig* diperkirakan juga akan mempengaruhi jumlah air yang dapat didorong, sehingga kinerja pembersihan oleh *pig* juga berubah.
- (4) Karakteristik busa dalam menyerap cairan atau daya serap busa, yang ditunjukkan oleh jenis busanya. Kemampuan penyerapan air oleh *pig* tentu mempengaruhi jumlah air yang masih tinggal di dalam pipa. Adanya air yang diserap oleh pig diperkirakan menambah berat total pig, sehingga gaya dorong oleh tekanan udara akan dipakai untuk menggerakkan pig sekaligus dengan air yang diserap dan didorong, sehingga kecepatan *pig* akan terpengaruh.

**(a) Pengembangan peralatan**

Pada prinsipnya peralatan yang digunakan harus dapat digunakan untuk mengukur massa cairan dalam pipa, serta mengukur waktu tempuh *foam pig* di sepanjang ruas pipa. Dengan prinsip seperti ini, maka dibuatlah satu ruas di segmen pipa lurus yang mudah diputus dan disambung kembali dengan langkah yang mudah dan cepat. Gambar 3.15 memberi ilustrasi tentang pengembangan peralatan ini.

Sama seperti percobaan terdahulu, konfigurasi peralatan yang dipakai adalah: *launcher* - segmen pipa lurus - *receiver*.

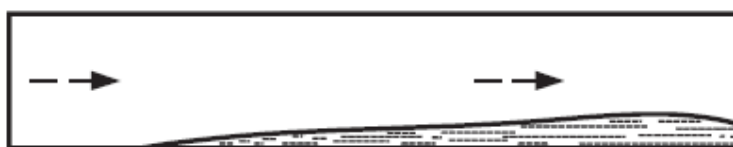


**Gambar 3.15** Perlakuan bagian pipa yang digunakan untuk mengamati kinerja *foam pig*

**(b) Penyusunan prosedur percobaan untuk pengamatan pengaruh berbagai variabel terhadap kinerja *foam pig***

Prosedur ini memerlukan pengamatan awal berupa jumlah air maksimal yang dapat digunakan untuk mengatur tingkat kebasahan bagian dalam dinding pipa. Kriteria yang dipakai untuk menilai jumlah air maksimal adalah kemudahan penempelan butiran air. Dari pengamatan awal ini diharapkan juga diketahui jumlah optimal air yang dipakai untuk membuat percobaan mudah dilaksanakan dan diamati.

Simulasi terjadinya slug dalam pipa dilakukan secara sederhana dengan mengucurkan air ke dalam ruas pipa sampel kemudian meratakannya. Air yang membasahi pipa memang tidak merata, tetapi membentuk butiran. Peristiwa ini tetap dianggap mewakili kondisi sebenarnya pada saat terbentuk slug dalam aliran gas, karena kondensasi akan menyebabkan terbentuknya butiran. Xiao dan Jing (2005) menggambarkan bahwa kondensat yang terbentuk dalam sistem perpipaan gas dapat membentuk genangan sehingga dalam pipa terjadi aliran dua fasa dengan fasa cair berada di dasar pipa, seperti terlihat dalam Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Kondisi cairan yang terbentuk pada saat terjadi kondensasi

Sumber : Hosseinalipour (2007)

Prosedur umum yang dapat dipakai untuk mengamati pengaruh variabel-variabel yang telah disebutkan di atas terdiri dari dua prosedur, yaitu prosedur yang harus dijalankan sebelum peluncuran pig, dan prosedur yang harus dijalankan setelah peluncuran pig. Kedua prosedur selanjutnya disebut prosedur E dan F dan disusun sebagai berikut.

### **Prosedur E : standar persiapan *pig* dan segmen pipa untuk sampling**

- (E1) Ambil sebuah *foam pig* yang kering, timbang beratnya
- (E2) Pastikan udara dari kompresor dalam keadaan tidak mengalir
- (E3) Lepaskan ruas *sampling* di segmen pipa lurus.
- (E4) Timbang berat ruas pipa sampling ini.
- (E5) Masukkan air ke ruas pipa *sampling* sesuai dengan jumlah yang dikehendaki
- (E6) Ratakan air sehingga dan usahakan agar menyebar ke seluruh dinding dalam pipa, dengan cara memutar segmen pipa dan memiringkannya sedikit ke kiri-kanan secara bergantian.
- (E7) Timbang berat pipa yang telah terisi air dengan hati-hati
- (E8) Pasang kembali segmen pipa *sampling* ke dalam rangkaian simulator *pigging*, sambil dijaga agar pipa benar-benar dalam keadaan datar.

## **Prosedur F : standar perlakuan pasca *pigging***

- (F1) Pastikan udara dari kompresor dalam keadaan tidak mengalir
- (F2) Lepaskan ruas *sampling* di segmen pipa lurus, sambil dijaga agar pipa benar-benar dalam keadaan datar.
- (F3) Timbang berat ruas pipa *sampling* ini.
- (F4) Bersihkan sistem perpipaan dari air yang tersisa
- (F5) Pasang kembali segmen pipa *sampling* ke dalam rangkaian simulator *pigging*
- (F6) Lakukan proses *pigging* untuk menyempurnakan pembersihan bagian dalam pipa dengan *pig* yang ditugaskan khusus untuk itu dan dengan dengan laju udara minimal
- (F7) Timbang berat *pig* yang selesai menjalani proses *pigging*
- (F8) Keringkan *pig* dalam *tray dryer* dengan bukaan *blower* maksimal dan suhu udara panas 50°C.

### **3.3.2.1 Prosedur pengamatan pengaruh kecepatan awal udara**

Yang dimaksud dengan kecepatan udara awal adalah kecepatan aliran udara tanpa dibebani *pig*. Pengamatan ini ditujukan untuk meniru proses *pigging* dalam jalur pipa yang sesungguhnya, dimana pada kondisi sehari-hari jalur pipa itu hanya dialiri oleh fluida sedangkan pada saat dilakukan proses *pigging* dibebani oleh keberadaan *pig*. Langkah yang harus dijalani untuk mengamati pengaruh kecepatan udara awal terhadap kinerja *foam pig* adalah:

- (1) Jalankan prosedur E dengan penambahan air yang optimal pada langkah E5
- (2) Jalankan prosedur A
- (3) Jalankan prosedur B
- (4) Jalankan prosedur C
- (5) Jalankan prosedur D
- (6) Jalankan prosedur F

Langkah - langkah di atas diulangi dengan mengubah kecepatan udara dalam prosedur A langkah A3.

### **3.3.2.2 Prosedur pengamatan pengaruh kadar air bagian dalam pipa**

Dari pengamatan terhadap laju alir udara, diharapkan diperoleh kesimpulan sementara tentang laju yang optimal untuk menjalankan pig untuk diterapkan dalam prosedur ini. Langkah yang harus dijalani untuk mengamati pengaruh tingkat kebasahan bagian dalam pipa terhadap kinerja *foam pig* adalah:

- (1) Jalankan prosedur E
- (2) Jalankan prosedur A dengan laju alir udara yang optimal pada langkah A3
- (3) Jalankan prosedur B
- (4) Jalankan prosedur C
- (5) Jalankan prosedur D
- (6) Jalankan prosedur F

Langkah - langkah di atas diulangi dengan mengubah jumlah air yang ditambahkan dalam prosedur E langkah E5.

### **3.3.2.3 Prosedur pengamatan pengaruh ukuran *pig***

Ukuran *pig* yang dimaksud dalam prosedur ini adalah diameter *pig*, sedangkan panjang *pig* tidak diubah. Seperti dalam prosedur sebelumnya, dari pengamatan terhadap laju alir udara, diharapkan diperoleh kesimpulan sementara tentang laju yang optimal untuk menjalankan pig, untuk diterapkan dalam prosedur ini. Langkah yang harus dijalani untuk mengamati pengaruh ukuran pig terhadap kinerja *foam pig* adalah:

- (1) Jalankan prosedur E dengan penambahan air yang optimal pada langkah E5
- (2) Jalankan prosedur A dengan laju alir udara yang optimal pada langkah A3
- (3) Jalankan prosedur B
- (4) Jalankan prosedur C
- (5) Jalankan prosedur D
- (6) Jalankan prosedur F

Langkah - langkah di atas diulangi dengan mengubah pig dengan ukuran berbeda yang ditambahkan dalam prosedur B langkah B3.

### 3.3.2.4 Prosedur pengamatan pengaruh daya serap busa

Ukuran *pig* yang dimaksud dalam prosedur ini adalah diameter *pig*, sedangkan panjang *pig* tidak diubah. Seperti dalam prosedur sebelumnya, dari pengamatan terhadap laju alir udara, diharapkan diperoleh kesimpulan sementara tentang laju yang optimal untuk menjalankan *pig*, untuk diterapkan dalam prosedur ini. Langkah yang harus dijalani untuk mengamati pengaruh ukuran *pig* terhadap kinerja *foam pig* adalah:

- (1) Jalankan prosedur E dengan penambahan air yang optimal pada langkah E5
- (2) Jalankan prosedur A dengan laju alir udara yang optimal pada langkah A3
- (3) Jalankan prosedur B
- (4) Jalankan prosedur C
- (5) Jalankan prosedur D
- (6) Jalankan prosedur F

Langkah - langkah di atas diulangi dengan mengubah *pig* dengan ukuran berbeda yang ditambahkan dalam prosedur B langkah B3.

### 3.4 Pemodelan Karakteristik *Foam Pig* pada Saat *Pigging*

Pemodelan proses *pigging* yang telah dilakukan memiliki dua tema utama, yang pertama adalah melihat bagaimana deposit terkumpul selama proses *pigging* dan yang kedua adalah mengamati jalannya *pig* yang dipengaruhi oleh berbagai sebab. Xiao Xian Xiu (2005) dalam penelitiannya telah menggambarkan pemodelan *pigging* ini.

Fenomena aliran fluida dapat dinyatakan melalui persamaan kontinuitas. Walaupun disadari bahwa fluida yang dipakai berupa udara yang bersifat *compressible*, akan tetapi sebagai pemikiran dasar saja digunakan persamaan biasa, yaitu:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 + (-W) = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2 + F \quad (1)$$

Dalam persamaan di atas P adalah tekanan, v kecepatan linier, g percepatan gravitasi, h elevasi,  $\rho$  massa jenis, (-W) kerja pompa, dan F adalah hilang tekan karena gesekan fluida. *Subscript* 1 menunjukkan posisi masuk fluida, sedangkan 2 adalah keluarannya.

Jika ke dalam sistem aliran fluida dimasukkan *pig*, maka *pig* akan memberi gesekan terhadap dinding pipa. Selanjutnya hilang tekan karena gesekan oleh *pig* ini dianalogikan dengan gesekan fluida ke dinding pipa, dan menghasilkan:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (2)$$

dimana  $F_{\text{pig}}$  merupakan hilang tekan karena gesekan oleh *pig* ke dinding pipa.

Persamaan di atas dapat disusun ulang untuk memberi gambaran yang lebih jelas, dan menghasilkan:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (3)$$

Jika alat yang dibuat dikondisikan dalam keadaan datar maka  $\Delta h = 0$ . Sistem kompresi yang menghasilkan tekanan udara dilakukan diluar batas sistem yang diamati sehingga tidak ada daya fluida yang dimasukkan di sepanjang sistem, mengakibatkan  $-W = 0$ . Gesekan fluida terhadap dinding pipa diabaikan, sehingga dapat dinyatakan bahwa :

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (4)$$

Ruas kiri mencerminkan energi yang disuplai untuk menggerakkan *pig* dan menghasilkan gaya dorong terhadap *pig*, sedangkan ruas kanan mencerminkan energi yang hilang oleh gesekan *pig* dan menjadi gaya gesek *pig*.

Dasar pemodelan dapat ditelusuri dari keseimbangan gaya yang bekerja pada saat *pig* bergerak. Keseimbangan gaya tersebut dapat digambarkan dalam bentuk vektor seperti Gambar 3.17 di bawah ini.



Gambar 3.17 Gaya yang bekerja pada saat *foam pig* bergerak

Sesuai dengan hukum dasar fisika, berlaku:

- (1) Jika jumlah gaya sama dengan nol maka *pig* yang diam akan tetap diam, sedangkan *pig* yang bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap
- (2) Jika jumlah gaya tidak sama dengan nol maka *pig* yang bergerak akan mempunyai percepatan
- (3) Jika ada gaya yang dapat disimpan oleh sistem benda yang bergerak ini, akan timbul gerakan periodik.



### 3.4.1 Pemodelan Gerak Foam Pig

Model gerak dasar dalam ilmu fisika yang berupa gerak lurus beraturan (GLB), gerak lurus berubah beraturan (GLBB), dan gerak periodik dapat dimodelkan dengan persamaan jarak (X) sebagai fungsi waktu (t).

#### (1) Gerak Lurus Beraturan

Jika jenis gerak ini cocok diterapkan untuk memodelkan gerak *pig*, berarti selama percobaan gaya-gaya yang bekerja terhadap *pig* seimbang. Dengan kata lain gaya tekan yang bekerja pada dinding belakang *foam pig* sama dengan gaya gesek *pig* terhadap dinding bagian dalam pipa. Persamaan yang dipakai untuk menyatakan gerak *pig* sebagai GLB adalah :

$X = at + b$ , dengan X adalah jarak dan t waktu, sementara a dan b konstanta

Persamaan garis X sebagai fungsi t akan terlihat sebagai fungsi linier.

#### (2) Gerak Lurus Berubah Beraturan

Jika jenis gerak ini sesuai diterapkan untuk memodelkan gerak *pig*, berarti selama percobaan terjadi perbedaan antara gaya bekerja terhadap *pig* dengan gaya gesek yang ditimbulkan oleh gerakan *pig*. Persamaan yang dipakai untuk menyatakan gerak *pig* sebagai GLB adalah :

$X = at^2 + bt + c$ , dengan a, b, dan c sebagai konstanta.

Persamaan garis X sebagai fungsi t akan terlihat sebagai fungsi parabola.

#### (3) Gerak Periodik

Jika pada saat pengamatan teramati gerakan periodik *pig* dengan gerak *pig* : cepat - lambat - cepat - lambat atau cepat - lambat - berhenti - cepat - lambat - berhenti, berarti selama percobaan terjadi penyimpanan energi oleh fluida karena kelenturannya atau sifat kompresibilitasnya.

Persamaan yang dipakai untuk menyatakan gerak *pig* sebagai GLB adalah :

$X = at + b \cdot \sin(\omega t)$ , dengan  $\omega$  sebagai 1/periode.

Persamaan garis X sebagai fungsi t akan terlihat sebagai sinusoidal.

### 3.4.2 Pemodelan Pengaruh Beberapa Variabel terhadap Kinerja *Pig*

Penentuan kinerja proses *pigging* didahului dengan mendefinisikan variabel bebas sebagai berikut:

- (1) Laju alir awal udara sebagai  $v_0$
- (2) Kadar air dalam pipa sebagai  $Z$
- (3) Diameter sebagai  $d$
- (4) Daya serap air atau absorptivitas sebagai  $A$

Sedangkan variabel terikat yang menjadi tolak ukur kinerja didefinisikan sebagai berikut:

- (1) Kecepatan luncur rata-rata *pig* sebagai  $v_{pig}$
- (2) Fraksi air atau perbandingan antara yang dapat dibersihkan sebagai  $K$

Model yang dibuat merupakan pencerminan bahwa hubungan antar variabel belum diketahui, dan diberi rumusan awal sebagai berikut:

- (1) Tolak ukur kecepatan luncur *pig*, dirumuskan sebagai

$$v_{pig} = a_1.v_0^{p1} + b_1.Z^{q1} + c_1.d^{r1} + d_1.A^{s1}$$

- (2) Tolak ukur jumlah air yang dapat dibersihkan, dirumuskan sebagai

$$K = a_2.v_0^{p2} + b_2.Z^{q2} + c_2.d^{r2} + d_2.A^{s2}$$

Rumusan awal ini belum mempertimbangkan konsistensi dimensi dan satuan masing-masing suku dalam persamaan. Modifikasi persamaan untuk memasukkan pertimbangan konsistensi ini dilakukan dalam pembahasan. Diharapkan hubungan yang telah dimodelkan dapat menjelaskan pengaruh variabel yang diubah terhadap tolak ukur kinerja proses *pigging* yang ditentukan.

### 3.5 Alat dan Bahan Percobaan

Alat yang dipakai untuk melakukan percobaan pada intinya adalah rangkaian alat hasil rancangan dibantu alat lainnya, selengkapnya yaitu:

- (1) Rangkaian simulator *pigging*
- (2) Foam *pig*
- (3) Stopwatch digital dengan ketelitian 0,01 detik
- (4) Timbangan meja digital dengan beban maksimum 5000 gr dan ketelitian 0.01 gr
- (5) Perekam Video
- (6) Tray dryer

Sedangkan bahan yang dipakai untuk melakukan percobaan adalah:

- (1) Air kran.
- (2) Udara tekan

## **BAB IV**

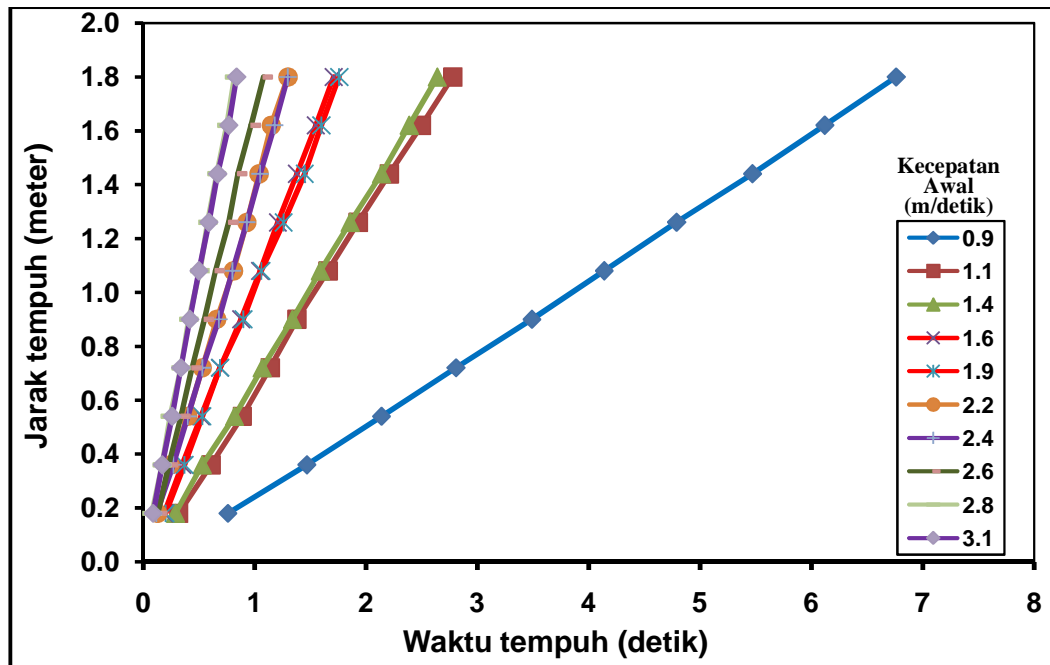
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Alat simulasi fisik proses *pigging* yang telah dirancang dan dibuat ternyata dapat digunakan untuk mengamati gerak *pig* secara visual. Prosedur yang dijalankan telah dapat dibuat cukup mirip dengan prosedur *pigging* di lapangan. Dengan adanya pipa penyalur yang berukuran sama dengan alat simulasi, serta adanya *foam pig* dengan ukuran 2 inch yang dijual di pasaran, maka skala peralatan dapat dianggap sebagai skala *pilot plant*.

Dari percobaan awal yang ditampilkan dalam lampiran A, diketahui bahwa suplai udara minimal harus berkecepatan 0,9 m/s. Batas atas yang biasa dipakai sebenarnya adalah kecepatan suara (*sonic velocity*) sebesar (60 ft/s), dan sebagai faktor keamanan biasanya dikalikan 1/2 sampai 1/3. Sering juga dipakai *erotional velocity* sebesar 10 m/s sebagai batas atas kecepatan udara. Dalam penelitian ini yang dipakai sebagai batas atas adalah kemampuan kompresor untuk mengalirkan udara. Selanjutnya dari pengamatan visual dapat dilihat bahwa penambahan air ke dalam pipa sebanyak 16 ml menjadikan air tersebar cukup merata, dan jumlah air ini masih mudah untuk ditangani.

#### **4.1 Dinamika *Foam Pig***

Gerakan *foam pig* dalam pipa pada saat melakukan proses *pigging* ternyata merupakan gerakan yang sederhana. Kondisi ini terlihat dalam grafik di Gambar 4.1.

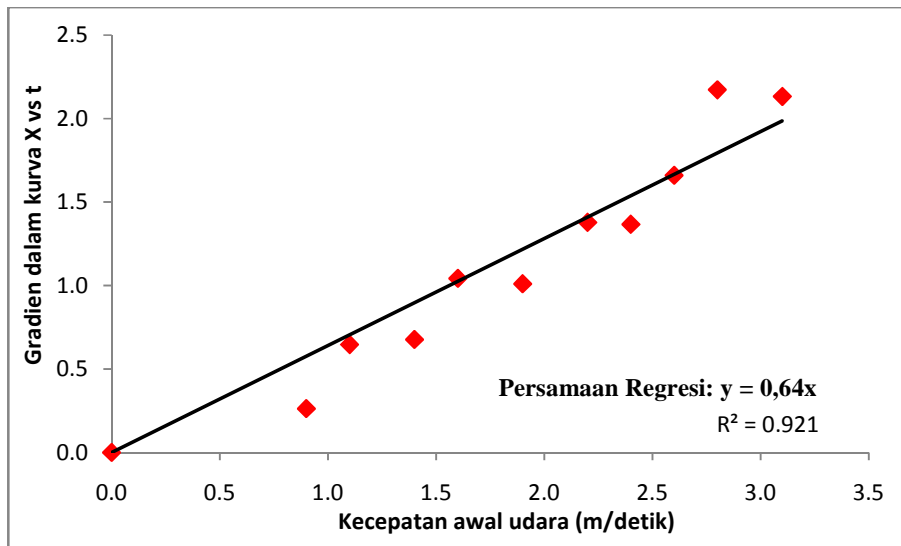


Gambar 4.1. Perkembangan jarak tempuh terhadap waktu pada berbagai kecepatan awal udara

Adanya grafik  $X$  (jarak) vs  $t$  (waktu) yang lurus memberi petunjuk bahwa gerakan yang terjadi bersifat sebagai gerak lurus beraturan. Dengan fenomena seperti ini berarti pada saat pig bergerak terjadi keseimbangan gaya, antara gaya dorong dengan gaya geseknya.

Esmailzadeh (2009) merepresentasikan fenomena ini menurut grafik kecepatan terhadap waktu seperti telah ditampilkan dalam gambar 2.12. Pada prinsipnya karakteristik yang ditunjukkan sama dengan hasil di atas. Hasil ini diperkuat dengan kurva yang dibuat oleh Pipeline Research Limited (2002), seperti yang ditampilkan dalam gambar 2.13. Dalam dua grafik ini terdapat zona *unsteady state*, dimana sifat gerak masih bergejolak dan tidak memenuhi sifat sebagai gerak lurus beraturan. Akan tetapi jika gambar 4.1 di atas dibandingkan dengan gambar 2.13 tampaknya bahwa usaha untuk menstabilkan gerak dalam segmen pipa yang diamati telah berhasil.

Karena masing-masing kurva membentuk garis lurus, maka masing-masing dapat dicari gradiennya. Selanjutnya jika gradien kurva ini dibuat grafik, tampaknya hasil seperti dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Pengaluran gradien kurva jarak tempuh vs waktu tempuh terhadap kecepatan awal udara

Dalam gambar 4.2 di atas jika sumbu horizontal (sumbu x) merupakan kecepatan awal udara ( $v_0$ ), maka sesuai hasil regresi berlaku persamaan:

$$\text{Gradien} = 0,64 \cdot v_0$$

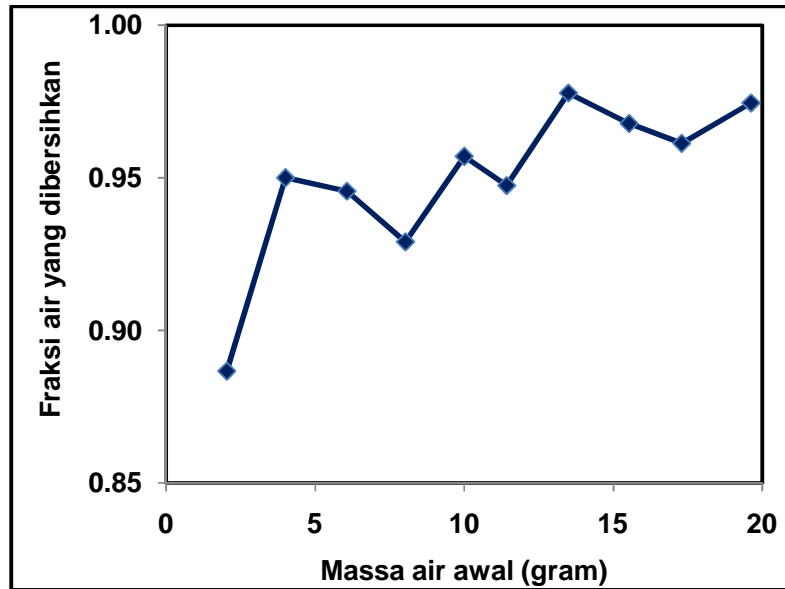
Persamaan ini akan digunakan untuk membuat model umum tentang dinamika *foam pig* yang diamati.

## 4.2 Kinerja *Foam Pig*

Kinerja *foam pig* dinilai dari dua hal yaitu kemampuannya untuk membersihkan air dalam pipa serta kecepatannya untuk menyelesaikan tugasnya. Empat variabel yang diperkirakan berpengaruh terhadap kedua tolok ukur kinerja tersebut diamati satu per satu sehingga dapat dilihat fenomena masing-masing yang khas.

### 4.2.1 Pengaruh Massa Air Awal terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan

Banyaknya air yang semula ada dalam pipa makin memperbesar harga perbandingan air yang dapat dibersihkan dengan jumlah awalnya seperti terlihat dalam Gambar 4.3. Fenomena ini dapat terjadi karena *foam pig* pada kecepatan tertentu dapat meninggalkan air dengan jumlah tertentu pula. Karena perbandingan antara air yang ditinggalkan dengan jumlah awal air semakin kecil, nampak seolah-olah kinerja pig makin baik.



Gambar 4.3. Pengaruh massa air awal terhadap fraksi air yang dibersihkan

Kelihatannya tingkat pembersihan bagian dalam pipa ini dapat mencapai harga optimum tertentu, karena jumlah air yang bertambah menyebabkan tekanan dari arah depan bertambah dan dengan demikian menambah pula jumlah air yang tertinggal. Fenomena bahwa pembersihan air oleh *pig* tidak dapat mencapai 100% sangat sulit ditemukan sebabnya, hanya dengan penelusuran literatur. Logika yang dapat menjelaskan hal ini mungkin sama dengan fenomena gerak piston dalam silinder yang diberi pelumas. Dalam sistem piston-silinder ini pelumas selalu menempatkan diri sebagai bantalan antara piston dan silinder karena gaya adesinya. Dengan demikian pelumas tidak pernah terdorong 100% oleh piston. Pada saat *pig* berjalan melewati butiran air, sebagian air akan tertekan ke dinding pipa, sehingga membentuk bantalan yang membantu gerak luncur *pig*. Air yang berlaku sebagai bantalan inilah yang akan tertinggal di dinding pipa setelah *pig* lewat. Penjelasan kedua berhubungan dengan hukum Newton I tentang kelembaman. Dalam hukum tersebut dikatakan bahwa benda diam akan mempertahankan sikap diamnya, sedangkan benda bergerak akan mempertahankan gerakannya. Dalam hal ini air yang semula diam di dinding pipa ketika ditabrak oleh *pig* sebagian berhasil mempertahankan kondisi diamnya. Air inilah

yang tetap tertinggal dalam pipa setelah *pig* lewat, dan menyebabkan pembersihan tidak pernah mencapai 100%.

Bentuk kurva yang tidak lurus dan tampak naik-turun tampaknya disebabkan oleh hal lain diluar parameter yang telah diatur. Terjadinya zona tertentu seperti yang dikemukakan oleh Minami (1992) serta digambarkan oleh Klebert dan Nydal (2010) seperti yang telah ditampilkan dalam gambar 2.12 mengakibatkan adanya penumpukan cairan di bagian depan pipa. Penempatan air dalam pipa sampel seperti yang dilakukan dalam percobaan ini menimbulkan bintik-bintik air yang diskontinyu, seperti tampak dalam Gambar 4.4. Khusus untuk membuat gambar 4.4, air yang dimasukkan sengaja diwarnai untuk memperjelas foto.



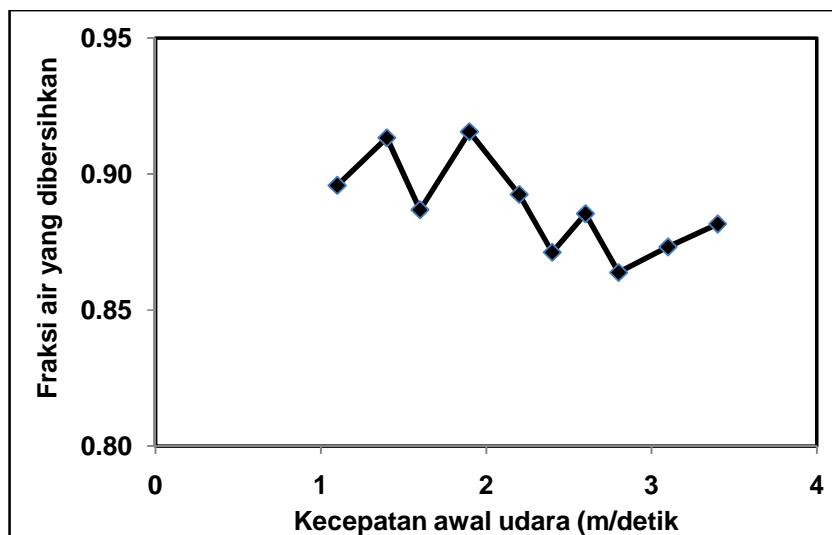
Gambar 4.4. Bintik-bintik air yang terbentuk di dinding pipa sampel

Adanya bintik-bintik yang kerap kali berubah menjadi bulatan-bulatan menyebabkan berubahnya jumlah air dalam *undisturbed flowing zone* yang terletak di depan *pig*. Adanya perubahan ini menyebabkan tingkat jumlah air yang bocor ke zona di belakang *pig*, sehingga massa air yang tertinggal di dalam pipa juga berubah. Perubahan inilah yang menyebabkan fraksi air yang dapat dibersihkan oleh *pig* juga berubah.

#### **4.2.2 Pengaruh Kecepatan Awal Udara terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan**

Bertambahnya kecepatan awal udara menyebabkan kemampuan *pig* untuk membersihkan air makin berkurang. Terlihat dalam Gambar 4.5 kurva yang naik turun. Walaupun kurva di atas terlihat fluktuatif, tetapi mempunyai kecenderungan turun. Bentuk kurva yang bergerigi dijelaskan dengan cara yang sama seperti penjelasan

dalam sub bab sebelumnya. Gambar 4.4 juga masih dipakai untuk menjelaskan fenomena ini.



Gambar 4.5. Pengaruh kecepatan awal udara terhadap fraksi air yang dibersihkan

O'Donoghue (2007) mengindikasikan hal yang mirip dengan penelitian ini. Peneliti tersebut mencoba dengan 3 titik, tetapi kecenderungannya yang ditunjukkan oleh kurva seperti yang telah ditampilkan dalam Gambar 2.9 berbentuk melengkung menuju bentuk mendatar. Jika hasil pengamatan O'Donoghue ini dipercaya, maka dari kurva gambar 4.4 di atas dapat ditafsirkan jika kinerja *foam pig* pada kecepatan udara yang tinggi menghasilkan harga fraksi air yang dibersihkan sekitar 87%.

Kecenderungan kurva yang menurun dapat dijelaskan juga dengan hukum Newton I tentang kelembaman. Makin cepat jalannya *pig*, maka selisih kecepatan antara *pig* yang bergerak dengan air yang diam semakin besar. Hal ini menyebabkan jumlah air yang dapat mempertahankan kedudukannya makin bertambah. Dengan demikian fraksi air yang dibersihkan makin berkurang.

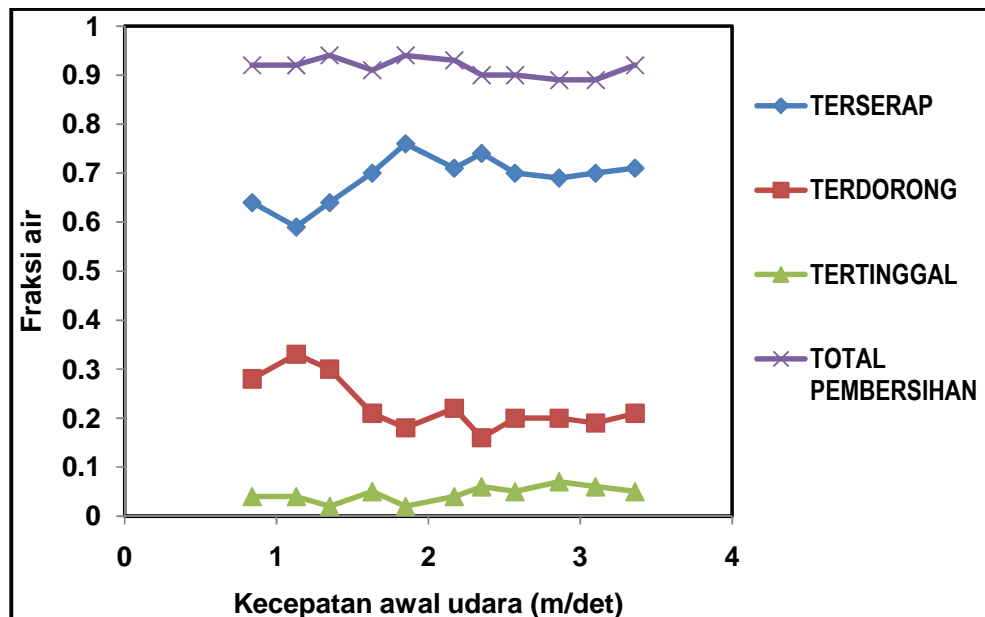
Berbeda dengan O'Donoghue, Tiratsoo (1992) menghasilkan bentuk kurva berupa garis lurus seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Perbedaan hasil oleh kedua peneliti ini kemungkinan disebabkan oleh zona kecepatan liner yang berbeda diantara keduanya. Melihat hasil seperti ini, maka karakteristik *foam pig* dalam penelitian ini



lebih tepat mengikuti karakteristik yang ditemukan oleh Tiratsoo, karena harga kecepatan gas yang dipakai lebih mirip.

Cukup menarik untuk melihat pada kecepatan berapa mekanisme penyerapan air oleh pig dan mekanisme pendorongan butiran air masing-masing berperan. Gambar 4.6 menceritakan kondisi air yang terdorong, terserap dan tertinggal di dinding pipa. Terlihat dalam gambar tersebut harga air yang dapat terserap mencapai harga konstan pada kira-kira 0,7 gram. Kemungkinan harga ini merupakan titik “jenuh” *foam pig* oleh air dengan mekanisme *pigging*.

Pada kecepatan udara yang rendah jumlah air yang terserap rendah, kemudian meningkat seiring dengan peningkatan laju awal udara, sampai mencapai harga “jenuh” tadi. Hal ini menunjukkan bahwa untuk masuk ke badan *foam*, air memerlukan gaya dorong tertentu.



Gambar 4.6. Pengaruh kecepatan awal udara terhadap mekanisme pembersihan air

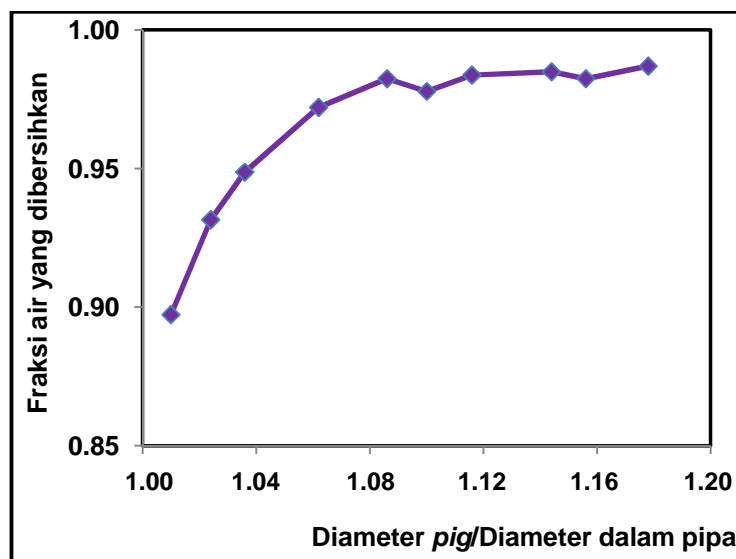
Dari gambar di atas, ternyata setelah melampaui kecepatan 2 meter/detik total pembersihan cenderung turun dan air yang tertinggal cenderung naik. Perubahan keduanya secara visual tidak signifikan, sehingga pengaruh kecepatan udara terhadap air yang tertinggal ternyata kecil jika dibandingkan dengan kondisi keseluruhan..

### 4.2.3 Pengaruh Diameter Pig terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan

Pengamatan yang dilakukan dengan memakai bahan dan peralatan yang ada memberi data perkembangan fraksi air yang dibersihkan karena pengaruh perubahan diameter pig. Karakter yang ditunjukkan oleh data ini bersifat terbatas hanya untuk pipa akrilik berdiameter 2 *inch* dengan harga diameter *pig* seperti yang dicoba. Untuk lebih menggeneralisir karakter ini, selanjutnya untuk menggambarkan ukuran pig dipakai rasio antara diameter *pig* dengan diameter bagian dalam pipa akrilik. Sesuai dengan tujuan awal, pengolahan data dilakukan terhadap pengaruh diameter terlebih dahulu, selanjutnya diperdalam dengan rasio diameter.

Pertambahan diameter pig semula tampak meningkatkan fraksi air yang dapat dibersihkan, seperti tampak dalam gambar 4.7. Setelah besarnya diameter pig mencapai 10% dari diameter pipa, maka fraksi yang dibersihkan cenderung hampir tidak berubah.

Fenomena seperti di atas disebabkan oleh tekanan dinding *pig* ke dinding pipa yang semakin besar, sehingga semakin tidak memberi kesempatan bagi air untuk tertinggal dalam dinding pipa. Dengan demikian ketika tekanan *pig* sedemikian kuat maka air akan terdorong di depan pig.



**Gambar 4.7.** Pengaruh diameter pig terhadap fraksi air yang dibersihkan

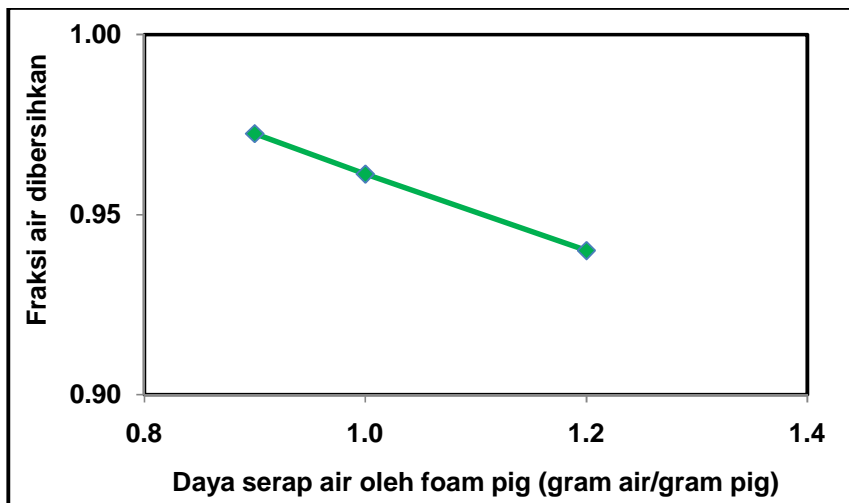
Penelitian yang dilakukan O'Donoghue (2007) menunjukkan adanya peningkatan volume air yang dihilangkan jika diameter pipa bertambah (Gambar 2.9). Oleh karena penelitian O'Donoghue hanya mengamati pig yang berdiameter 4% lebih besar dibanding diameter pipa, maka sifat untuk diameter yang lebih besar belum muncul.

Secara singkat, grafik di atas sebenarnya dapat dibagi menjadi dua zona. Zona pertama dengan diameter pig kurang dari 5.5 cm merupakan zona kebocoran air, sedang zona kedua dengan diameter pig lebih dari atau sama dengan 5.5 cm merupakan zona pendorongan air.

Pembuat pig seperti Pipe Equipment Specialist (2010) telah menetapkan diameter optimal foam pig untuk pipa baja sampai 40% dari diameter pipa. Diameter yang dipakai dalam percobaan lebih kecil, karena dikhawatirkan jika disamakan spesifikasi diameter yang diaplikasikan terhadap pipa baja, maka pipa akrilik yang dipakai akan rusak.

#### 4.2.4 Pengaruh Daya Serap *Foam Pig* terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan

Fenomena hubungan ini tergambar dalam kuva Gambar 4.8. Terlihat justru fraksi air yang dibersihkan makin berkurang jika daya serap *foam pig* meningkat.



Gambar 4.8. Pengaruh daya serap air oleh *pig* terhadap fraksi air yang dibersihkan

Penurunan kinerja karena peningkatan daya serap berlawanan dengan logika, karena seharusnya makin banyak air yang diserap maka jumlah air yang tertinggal semakin sedikit. Hal ini disebabkan oleh sifat *pig* yang lain, yaitu semakin mudah menyerap air, maka foam semakin lunak. Hal ini menyebabkan tekanan *foam* ke dinding pipa semakin kecil yang berdampak pada semakin banyaknya air yang tertinggal.

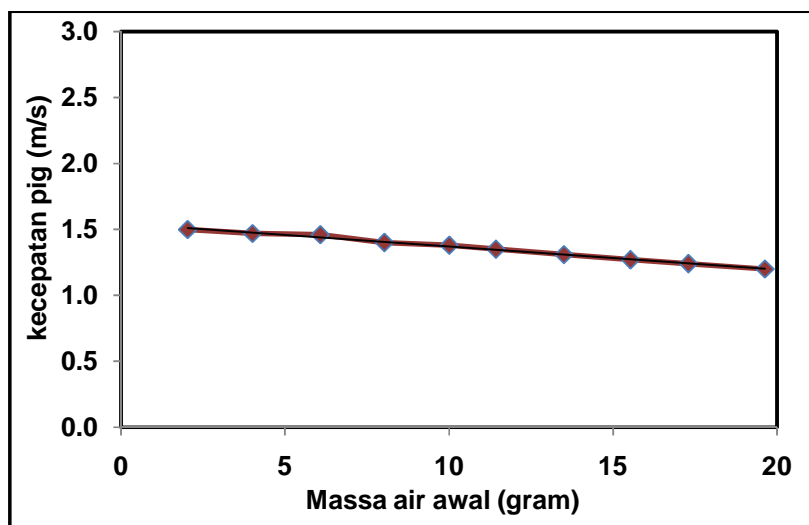
Fenomena penurunan fraksi air yang dibersihkan semula dicurigai merupakan akibat dari adanya deformasi struktur busa dalam *foam pig* karena adanya absorpsi air. Kecurigaan ini terbantah karena setiap kali *pig* basah dikeringkan dengan hembusan udara hangat, maka bentuk dan ukuran *pig* akan kembali seperti semula. Dengan demikian penyerapan air oleh *foam pig* tidak menyebabkan deformasi permanen terhadap struktur busanya.

Seperti ditunjukkan oleh penelitian Glicksman (2003) yang ditampilkan pula dalam gambar 2.18, penyerapan air ke dalam busa memerlukan waktu tertentu. Kemungkinan penyerapan air oleh *pig* pada rentang waktu penelitian yaitu sepanjang *pig* meluncur melewati pipa sampel belum cukup untuk mengurangi genangan di *slug zone* (lihat Gambar 2.7) secara signifikan.

Karakter penyerapan cairan oleh *foam pig* yang teramati dalam penelitian ini masih jauh dari titik jenuhnya. Pada kenyataannya *pig* harus bekerja dalam pipa jarak panjang, sehingga sebelum mencapai akhir tuganya sudah mengalami kejenuhan. Seandainya hal itu terjadi maka kinerja pembersihan *pig* ditentukan oleh keras-lunaknya sifat *pig* setelah jenuh. Sehubungan dengan hal ini, O'Dinoghue (2007) tidak setuju jika sifat *pig* dihubungkan dengan densitas awal *pig* serta daya serapnya. Menurut dia sifat yang lebih tepat untuk mempengaruhi kinerja *pig* adalah *firmness* dari *foam pig* yang dipakai.

#### **4.2.5 Pengaruh Massa Air Awal terhadap Kecepatan *Pig***

Hubungan antara massa air awal terhadap kecepatan *pig* tergambar dalam kurva Gambar 4.9. Terjadi garis yang hampir lurus dalam kurva yang menggambarkan fenomena ini.



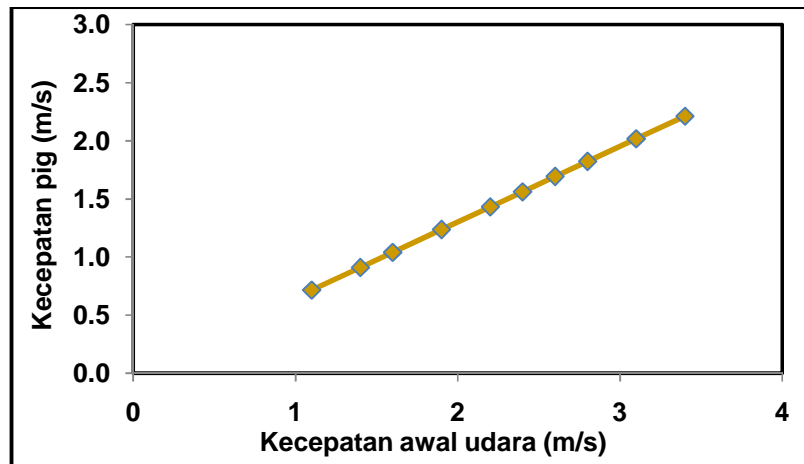
Gambar 4.9. Pengaruh massa air awal terhadap kecepatan pig

Tampaknya jumlah massa air awal kurang berpengaruh terhadap kecepatan *pig*, tetapi tetap terkesan bahwa massa air menurunkan kecepatan *pig* secara linier. Kemungkinan penurunan ini lebih disebabkan oleh beban yang ditanggung oleh bagian depan pig ketika terjadi penumpukan air karena dorongan pig. Penumpukan cairan di depan pig telah diindikasikan oleh Hoi (2002) sebagai hal yang mempengaruhi laju pig. Dalam model yang dikembangkan oleh Hosseinalipour (2007) dinyatakan bahwa kecepatan pig dipengaruhi oleh *liquid holdup* pada arah *downstream* dari pig.

#### 4.2.6 Pengaruh Kecepatan Awal Udara terhadap Kecepatan *Pig*

Secara linier kecepatan pig bertambah jika kecepatan awalnya ditambah. Hal ini memperkuat penilaian bahwa gerak pig sepanjang pipa sesuai dengan karakter gerak lurus beraturan. Fenomena seperti ini terlihat dalam Gambar 4.10.

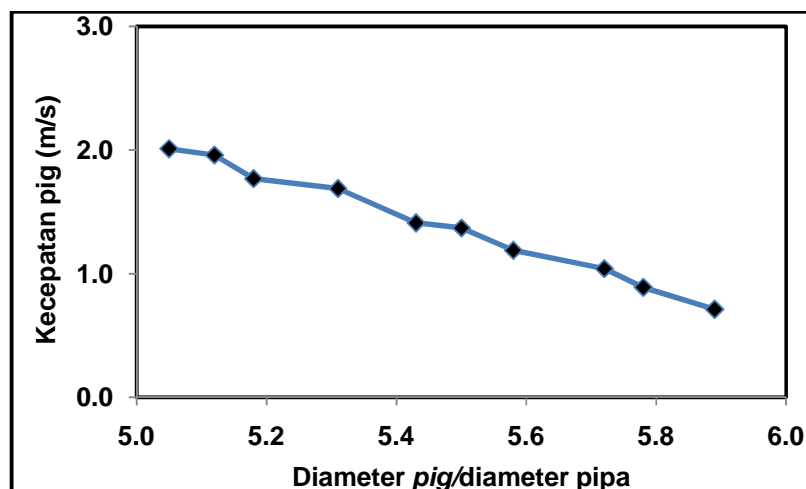
Kecepatan awal seperti yang digunakan oleh Tiratsoo (1992) serta O'Donoghue (2007) memang mempengaruhi kecepatan pig secara proporsional. Pembahasan bahwa gerak *pig* adalah gerak lurus beraturan sama seperti yang diuraikan dalam sub bab 4.1



Gambar 4.10. Pengaruh kecepatan awal udara terhadap kecepatan pig

#### 4.2.7 Pengaruh Diameter *Pig* terhadap Kecepatan *Pig*

Sama seperti yang terjadi dalam sub bab 4.2.3, pembahasan awal dilakukan terhadap diameter *pig*, selanjutnya dikembangkan menjadi rasio diameter *pig* per diameter pipa. Pertambahan diameter *pig* ternyata secara signifikan mengurangi kecepatan *pig* untuk meluncur. Hal ini disebabkan oleh tekanan dinding *pig* yang semakin besar ketika diameter *pig* bertambah. Pertambahan tekanan tersebut menambah gaya gesek terhadap pipa, sedangkan gaya dorong oleh tekanan udara tetap, sehingga membuat gaya total ke depan makin berkurang. Fenomena seperti ini terlihat dalam Gambar 4.11.

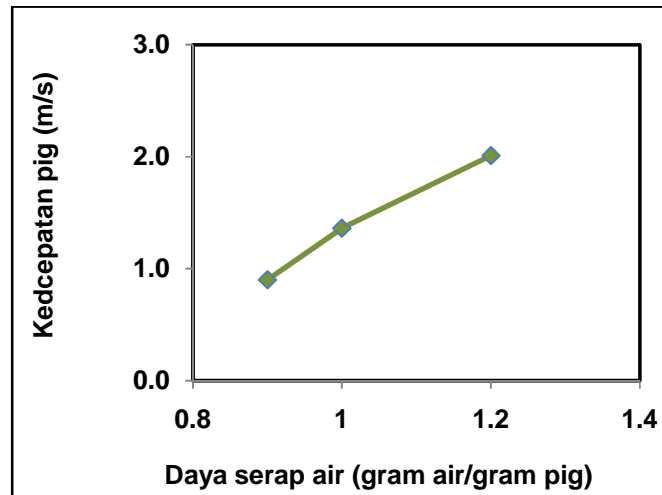


Gambar 4.11. Pengaruh diameter pig terhadap kecepatan pig

Percobaan oleh O'Donoghue (2007) seperti yang tertera dalam gambar 2.14 dapat menjelaskan fenomena yang terjadi dalam penelitian ini. Oleh O'Donoghue dikatakan bahwa pengecilan diameter *pig* akan merediksi efisiensi pembersihan cairan dari dalam pipa.

#### 4.2.8 Pengaruh Daya Serap Air terhadap Kecepatan Pig

Hubungan kedua ini kurang dapat digambarkan secara intensif, karena sulitnya mencari jenis pig dengan kemampuan penyerapan yang berbeda. Setidaknya dari data yang ada tergambar fenomena seperti dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Pengaruh daya serap air terhadap kecepatan pig

Kemungkinan pig yang mempunyai daya serap lebih besar kondisinya lebih basah, sehingga air yang berada di dalamnya bersifat sebagai pelumas yang dapat melicinkan luncuran pig. Model *dashpot* seperti yang dikemukakan oleh Sodano & Inman (2006) sesuai dengan dugaan bahwa cairan yang mengelilingi pig akan bersifat sebagai pelumas. *Lubrication effect* juga dikemukakan oleh O'Donoghue (2007) dalam percobaannya, hanya saja dia mengamati adanya efek ini terhadap cairan kondensat yang *waxy condition*. Pada intinya tetap sama, yaitu jika di sekitar *pig* terdapat cairan yang secara relatif menambah kelicinan dinding *pig*, maka *pig* itu akan meluncur lebih cepat.

Jika dibandingkan dengan Gambar 4.8. tentang pengaruh daya serap air oleh *pig* terhadap fraksi air yang dibersihkan, maka grafik dalam Gambar 4.12 ini menunjukkan kebalikan. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan *pig* sangat dipengaruhi oleh penumpukan cairan di depan *pig*. Percobaan yang dilakukan oleh Hosseinalipour (2007) menguatkan hal ini. Dari gambar 4.8 didapat kenyataan bahwa makin tinggi daya serap *pig*, makin banyak air yang lolos ke belakang *pig*. Selanjutnya makin banyak air yang lolos ke belakang berarti makin sedikit air yang menumpuk di depan *pig*. Dengan makin sedikitnya tumpukan air di depan *pig* maka tahanan terhadap jalannya *pig* makin berkurang dan akibatnya *pig* meluncur semakin cepat.

Grafik yang didapat masih menunjukkan kecenderungan naik. Dalam percobaan ini jumlah air yang diserap oleh *pig* masih jauh dari titik jenuhnya, sehingga karakter yang didapat belum dapat mencititakan kondisi pada saat *pig* telah jenuh dengan air. Diperkirakan pada saat *pig* telah jenuh kecepatan akan mencapai puncak, dan jika dilanjutkan akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan pada saat itu mekanisme pembersihan hanya karena terdorongnya cairan oleh *pig*, selanjutnya bertambahnya tumpukan cairan di depan *pig* akan menambah hambatan bagi jalannya *pig* yang menyebabkan kecepatan akan menurun.



### 4.3 Pemodelan dinamika dan kinerja *foam pig*

Berdasarkan hasil pengamatan seperti yang tergambar dalam sub bab sebelumnya, terdapat kecenderungan yang dapat dipakai sebagai dasar pemilihan model. Model yang diturunkan untuk merumuskan secara matematis dipilih yang sederhana, tetapi dapat menjelaskan fenomena yang terjadi.

#### 4.3.1 Pemodelan Gerak *Foam Pig*

Persamaan yang diturunkan untuk memodelkan gerakan pig diarahkan kepada persamaan gerak lurus beraturan, karena sifat kurva yang sudah jelas. Sesuai dengan hasil pengamatan yang ditampilkan dalam gambar 4.1 yang digabungkan dengan Gambar 4.2, maka didapat persamaan garis lurus yang tergantung harga kecepatan awal udara. Persamaan model yang didapat adalah:

$$X = 0,64 \cdot v_0 \cdot t$$

dengan X adalah jarak (m),  $v_0$  kecepatan awal (m/detik), dan t waktu (detik).

Walaupun para peneliti yang telah dibahas dalam sub bab 2.6.2 tidak menampilkan persamaan ini secara langsung, akan tetapi grafik yang mereka hasilkan mengarahkan kepada kesimpulan bahwa persamaan di atas secara kualitatif cocok diterapkan untuk menerangkan hasil yang mereka dapatkan.

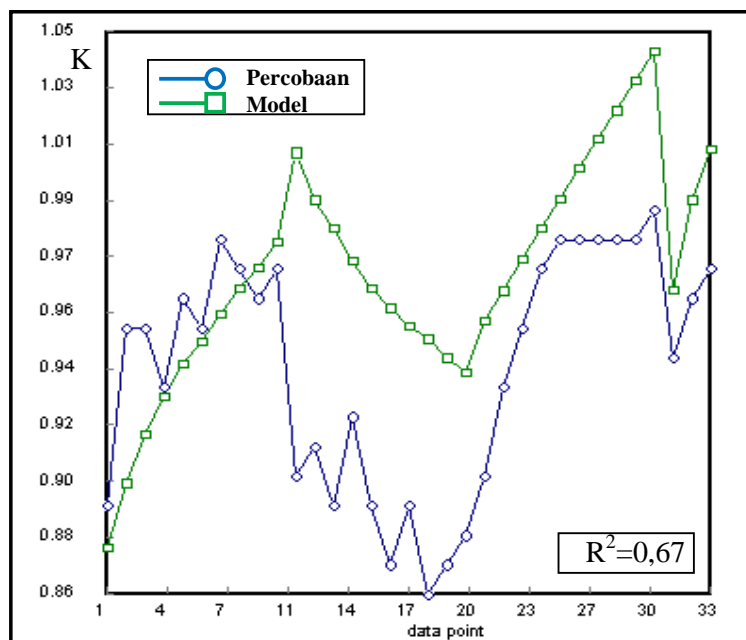
#### 4.3.2 Pemodelan Kemampuan *Foam Pig* Menghilangkan Air

Seperti dapat dilihat dalam Gambar 4.3 sampai 4.6, pengaruh empat variabel terhadap fraksi air yang dibersihkan terlihat tidak linier, dan dengan program *polymath* dapat dimodelkan menjadi:

$$K = 0,75 \cdot v_0^{-0,09} + 0,05 \cdot Z^{0,4} + 0,46 \cdot d^{0,5} - 0,91 \cdot A^{0,18}$$

dengan K adalah fraksi air yang dibersihkan,  $v_0$  kecepatan awal udara (m/s), Z jumlah air yang ditambahkan (gram), d diameter pig (cm), dan A daya serap foam terhadap air (gr air/gr foam). Persamaan di atas tidak mempertimbangkan konsistensi dimensi dan satuan antara ruas kiri dan ruas kanan. Variabel K sendiri sebenarnya tanpa dimensi. Konstanta dalam persamaan model ini diharapkan dapat mengatasi masalah ketidakkonsistenan dimensi, karena mempunyai satuan yang sedemikian rupa sehingga dapat menyeimbangkan dimensi dan satuan.

Aluran grafik untuk menggambarkan kesesuaian model dengan data percobaan ditampilkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Perbandingan aluran grafik model dengan hasil percobaan pada K

Dengan melihat grafik di atas dapat dikatakan bahwa hasil pemodelan tidaklah memuaskan, walaupun persamaan yang dihasilkan logis. Penyebab dari masalah di atas kemungkinan adalah adanya dua zona yang dibuat oleh variabel diameter *pig*.

Untuk mencari model yang lebih konsisten, dibuat variabel relatif yang semuanya diharapkan tidak mempunyai dimensi. Modifikasi persamaan model dibuat dengan cara:

- (1) Membuang variabel diameter karena sesuai analisis memang tidak mempunyai model tunggal
- (2) Membuat variabel kecepatan awal pig menjadi kecepatan pig relatif terhadap kecepatan awalnya, atau  $v_{rel} = v_{pig}/v_o$ , dengan  $v$  adalah kecepatan pig.
- (3) Kadar air diubah menjadi  $Z_{rel} = (\text{volume air dalam pipa})/\text{volume pipa sampling}$ , keduanya bersatuan  $\text{cm}^3$ .

Dari modifikasi ini dihasilkan model sebagai berikut.

$$K = 0,415.v_{rel}^{-0,18} + 0,09.Z_{rel}^{0,116} + 0,445.A^{-0,091}$$

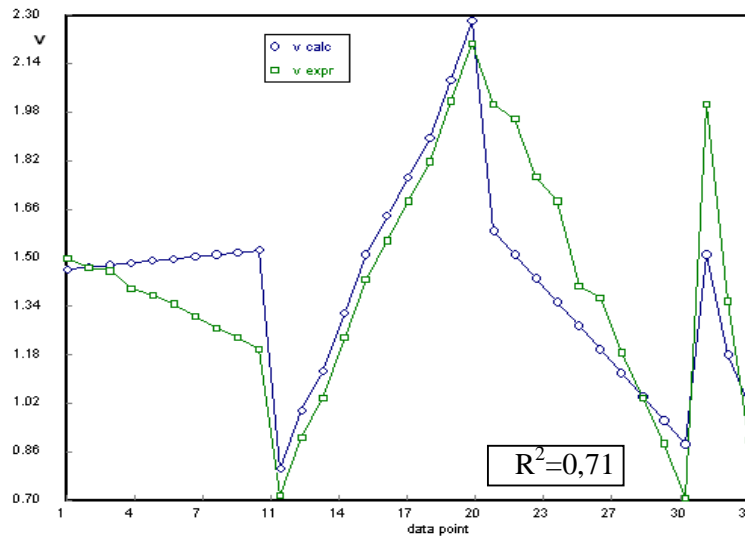
Model diatas terlihat lebih logis dan dimensinya konsisten.

### 4.3.3 Pemodelan Kecepatan *Foam Pig* Menempuh Jalur Pipa

Seperti terlihat dalam gambar 4.8 sampai 4.11, empat variabel yang diamati sesuai kurva mempengaruhi secara linier terhadap kecepatan pig. Oleh karena itu modelnya:

$$v_{\text{pig}} = 2,05 + 0,64.v_o + 0,0036.Z - 0,78.d + 1,65.A$$

dengan  $v_{\text{pig}}$  sebagai kecepatan luncur *pig* (m/s). Jika digambarkan dalam grafik, perbandingan antara model dengan data percobaan terlihat seperti dalam gambar 4.14.



Gambar 4.14. Perbandingan aluran grafik model dengan hasil percobaan pada  $v_{\text{pig}}$

Dengan langkah yang sama dengan sebelumnya, model dimodifikasi dengan variabel tak berdimensi. Dengan mendeklarasikan  $d_{\text{os}}$  sebagai *oversize* dari diameter pig yang dirumuskan sebagai  $d_{\text{os}} = (d - d_{\text{pipa}}) / d_{\text{pipa}}$  dimana  $d_{\text{pipa}}$  adalah diameter pipa bagian dalam, dan membuat  $v$  menjadi  $v_{\text{rel}}$  didapat:

$$v_{\text{rel}} = -0,20 + 5,82.Z_{\text{rel}} - 1,77.d_{\text{os}} + 0,75.A$$

Jika dibandingkan dengan data percobaan yang hanya berisi satu variabel bebas, model yang diperoleh mempunyai perbedaan karakteristik. Model-model yang bersifat linier sesuai dengan karakteristik grafik yang berisi satu variabel, akan tetapi model yang non-linier masih sulit untuk menerangkan pengaruh diameter pig terhadap fraksi air yang dibersihkan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan banyak fakta hasil pengamatan, tetapi secara singkat dapat dikemukakan beberapa kesimpulan, yaitu:

- (1) Peralatan simulator *pigging* telah dapat dipakai untuk mengamati dinamika dan kinerja proses *pigging*. Dengan keterbatasan yang ada, karakter yang dapat diungkapkan hanya mewakili udara sebagai fluida kerja, dan air sebagai pengotor dalam sistem perpipaan, dengan pipa lurus sebagai segmen yang diamati, serta *foam pig* jenis *bare foam pig* berdensitas rendah sebagai pembersih. Namun demikian peralatan yang dibuat telah dapat dipakai sebagai sarana dasar dalam pengenalan proses *pigging*. Mekanisme kerja *foam pig*, untuk melakukan pembersihan bagian dalam pipa terutama adalah dengan mendorong cairan di depannya, ditambah penyerapan dalam badan busa.
- (2) Karakteristik proses *pigging* yang diukur berdasarkan kinerjanya, secara singkat adalah:
  - (a) Gerakan *foam pig* dalam segmen pipa lurus dapat didekati dengan model gerak lurus beraturan.
  - (b) Kinerja *foam pig*, dengan tolok ukur fraksi air yang dibersihkan jika dihubungkan dengan variabel yang mempengaruhinya :
    - massa air awal, berpengaruh positif non linier
    - kecepatan udara awal, berpengaruh negatif non linier
    - ukuran *pig*, karakter pengaruhnya terbagi menjadi dua zona
    - daya serap busa, berpengaruh negatif non linier
  - (c) Kinerja *foam pig*, dengan tolok ukur kecepatan *pig* jika dihubungkan dengan variabel yang mempengaruhinya :
    - massa air awal, berpengaruh negatif linier
    - kecepatan udara awal, berpengaruh positif linier
    - ukuran *pig*, berpengaruh negatif linier
    - daya serap busa, berpengaruh positif linier

(3) Model yang dapat disusun untuk mewakili karakteristik proses pigging dengan pembatasan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

(a) Karakteristik gerak pig dapat dimodelkan sebagai:  $X = 0,64.v_o.t$

(b) Kinerja *foam pig*, dengan tolok ukur fraksi air yang dibersihkan dapat dimodelkan sebagai:

$$K = 0,75.v_o^{-0,09} + 0,05.Z^{0,4} + 0,46.d^{0,5} - 0,91.A^{0,18}$$

atau dalam bentuk suku-suku tak berdimensi menjadi:

$$K = 0,415.v_{rel}^{-0,18} + 0,09.Z_{rel}^{0,116} + 0,445.A^{-0,091}$$

(c) Kinerja *foam pig*, dengan tolok ukur kecepatan *pig* dapat dimodelkan sebagai:

$$v_{pig} = 2,05 + 0,64.v_o + 0,0036.Z - 0,78.d + 1,65.A$$

atau dalam bentuk suku-suku tak berdimensi menjadi:

$$v_{rel} = -0,20 + 5,82.Z_{rel} - 1,77.d_{os} + 0,75.A$$

dimana : X adalah jarak ( meter), t waktu (detik),  $v_o$  kecepatan udara (m/det), sedangkan K adalah fraksi air yang dibersihkan (gr air hilang/gr air awal), Z massa air yang ditambahkan sebagai pengotor (gram), d diameter pig (cm), dan A daya serap *foam pig* terhadap air (gr air/gram *foam pig*). Selanjutnya  $v_{rel} = v_{pig}/v_o$ ,  $Z_{rel} = (\text{volume air dalam pipa})/\text{volume pipa sampling}$ ,  $d_{os} = (d - d_{pipa})/d_{pipa}$  dengan  $d_{pipa}$  adalah diameter dinding dalam pipa (cm)

## 5.2 Saran

Untuk memperdalam penelitian ini perlu dilakukan penelitian lanjut. Sedangkan untuk meningkatkan kinerja alat simulasi yang telah dibuat, perlu dikembangkan beberapa hal, yaitu:

- (1) Penambahan jenis foam pig dengan berbagai karakteristik penyerapan.
- (2) Penerapan alat pencatat waktu otomatis dengan detektor sinar
- (3) Penambahan barometer ke badan *pig launcher* dengan spesifikasi tekanan maksimum 3 sampai 4 bar dan ketelitian 0,0001 bar.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASME (2001). *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, Issue No. B31.8, November 2001
- ASME (2001). *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, Issue No. B31.4, September 2001
- Cordell, Jim & Vanzant, Hershel (1990). *All About Pigging*. Steam System LT., New York
- Darbytech (2010). *The Pipeline Pigging Demonstration Apparatus*, [www.darbytech.ca/pipeline-pigging.asp](http://www.darbytech.ca/pipeline-pigging.asp) (online 3 Maret 2011)
- Davidson, Robert (2002). *An Introduction to Pipeline Pigging*. Pigging Products & Services Association, [www.ppsa-online.com/introduction-to-pigging.php](http://www.ppsa-online.com/introduction-to-pigging.php) (online 4 Maret 2011)
- Esmailzadeh, F. et al (2009). Mathematical Modeling and Simulation of Pigging Operation in Gas and Liquid Pipelines. *J. Petroleum Sci. & Eng.*, Nov. 2009 vol. 69 issues 1-2.
- Flowmore (1999). *150# Standard Launcher/Receiver*. Flowmore Services & Division of P.P.P., Houston, Texas, Drawing No. PPP-150L
- Geankoplis, Christie J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*. University of Minnesota, New Jersey, 3<sup>rd</sup> edition.
- Girard Industries (2003). *Polly Pigs Industrial Pipeline Cleaners*. Girard Industries, Houston-Texas, [www.girard.com](http://www.girard.com) (online 20 November 2010)
- Girard Industries (2010). *Pig Launching and Receiving Procedures*. Girard Industries, Houston-Texas, [www.girard.com](http://www.girard.com) (online 20 November 2010)
- Glicksman, Leon R. (2003). *Preliminary Evaluation of Water vapor transmission and Liquid Water Absorption in ET Foam Samples*. Columbia Accident Investigation Board, Vol. IV, October 2003, <http://www.nasa.gov/columbia/caib/PDFS/VOL4/F01.PDF> (online 3 Maret 2011)
- Godevil (2008). *Why Pig a Pipeline*. [www.godevil.com](http://www.godevil.com) (online 20 November 2010)
- Hoi, Che Yeung (2002). Modeling of Pig Assisted Production Methods. *J. Energy Resour. Technol.*, March 2002, Volume 124, Issue 1, 8
- Hopkins P. (1992). *The assessment of pipeline defects during pigging operations, in Pipeline Pigging Technology*, Tiratsoo J.N.H. (ed.), Gulf Professional Publishing, 2nd ed., pp. 303-324.

- Hosseinalipour, S.M., A. Salimi and A. Zarif Khalili (2007). Transient Flow and Pigging Operation in Gas-Liquid Two Phase Pipelines. **16th Australasian Fluid Mechanics Conference, Gold Coast, Australia**, 2-7 December 2007 (paper)
- Minami, Kazuio and Shoham, Ovadia (1993) Pigging Dynamics in two-phase flow pipelines : Experiments and modeling, in **68th Annual Technical Conference and exhibition of the SPE**, Houston Texas, 3-6 October 1993
- Klebert, P. and Nydal, O.J. (2010) **Object Oriented Simulation of Multiphase Flow**. Norwegian University of Science and Technology, Paper
- Li, Y.-X., Feng, S.-C., 2004. Simulation of pigging dynamic in gas-liquid pipelines. **Chem. Ind. Eng.** 55 (2), 271-274.
- Muleshoe (2008), **Gathering system rules of thumbs**. <http://www.muleshoe-eng.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/GatheringRulesOfThumb.pdf> (online 15 Oktober 2010)
- Nguyen T.T., Kim S.B., Yoo H.R., Rho Y.W. (2001) Modeling and simulation for pig flow control in natural gas pipeline, **KSME Int. J.** 15, 8, 1165-1173
- Nieckele A.O., Braga A.M.B., Azevedo L.F.A. (2001) Transient pig motion through gas and liquid pipelines, **J. Energ. Resour. ASME** 123, 260-269
- O'donoghue, Aidan (2007). **Pigging as Flow Assurance Solution**. Pipeline Research Limited, Glasgow
- Pipe Equipment Specialists, Ltd. (2010). **Foam pig**. [www.pipe-equipment.co.uk](http://www.pipe-equipment.co.uk) (online 19 Februari 2011)
- Pipeline Oil and Gas Equipment, Inc. (2010). **Where Quality is Our Highest Quality**. [www.pipe-equip.com](http://www.pipe-equip.com) (online 21 Februari 2011)
- Pipeline Pigging Products (2004). **Foam Pig**, Inc., [www.pipelinepiggingproducts.com](http://www.pipelinepiggingproducts.com) (online 2 Februari 2011)
- Saeidbakhsh, M. Rafeeyan and S. Ziaei-Rad, M. (2009). Dynamic Analysis of Small Pigs in Space Pipelines, **Oil & Gas Science and Technology** – Rev. IFP, Vol. 64 (2009), No. 2, pp. 155-164
- Sodano, Bae & Inman, Belvin (2006). Improved Concept and Model of Eddy Current Dumper. **Trans. American Soc. of Mech. Eng.** Vol.128
- Tiratsoo, JRH (1992). **Pipeline Pigging Technology**. Gulf Professional Publishing, Houston-Texas, 2<sup>nd</sup> ed.
- Warriner, Duncan (2008) Considerations in pig trap design. **Pipeline & Gas Journal**, August, 2008
- Wikipedia (2008). **Pigging**. [www.wikipedia.com/pigging](http://www.wikipedia.com/pigging) (online 18 Agustus 2010)
- Xiao-Xuan Xu and Jing Gong (2005). Pigging simulation for horizontal gas-condensate pipelines with low-liquid loading. **Elsevier B.V.**, London.

## RINGKASAN

Proses pengolahan yang melibatkan fluida dalam industri kimia banyak melibatkan sistem perpipaan jarak panjang. Pada saat fluida mengalir, sering ditemui masalah berupa hambatan aliran yang berasal dari endapan padat, bekuan cairan berbentuk lilin, kondensat dalam aliran gas, serta gelembung dalam aliran cairan. Cara mengatasi masalah tersebut adalah dengan memasukkan benda padat yang dinamakan pig dan tindakan ini disebut pigging. Ada berbagai macam pig, salah satu diantaranya yang banyak dipakai adalah jenis foam pig.

Belum ada alat untuk melakukan simulasi proses *pigging*, untuk itu perlu dirancang dan dibangun suatu alat yang mirip dengan kondisi peralatan *pigging* di lapangan dalam skala *pilot plant*. Karakteristik gerak *pig* serta kinerjanya dalam peralatan yang dibuat perlu diketahui sebagai gambaran karakteristik *pig* yang sebenarnya. Karakteristik hubungan antar variabel serta model yang diperoleh hanya menerangkan kondisi operasi *pigging* dalam simulator dengan pipa lurus, *pig* jenis *bare foam pig*, fluida pembawa berupa udara tekan dan fluida pengotor berupa air.

Sesuai dengan latar belakang yang menjadi inspirasi bagi penelitian ini, serta beberapa masalah yang dapat dirumuskan, maka penelitian ini ditujukan untuk :

- (4) Merancang dan membuat alat simulasi proses *pigging* dengan ukuran yang masih mungkin diterapkan secara praktis, tetapi dalam ukuran yang minimal. Alat yang dihasilkan diharapkan dapat dimasukkan dalam skala *pilot plant*.
- (5) Menguji karakteristik *foam pig*. Variabel bebas yang divariasikan selama penelitian adalah : ukuran *pig*, laju alir awal udara pembawa sebelum diberi *pig*, kadar cairan dalam pipa, serta kemampuan foam *pig* menyerap cairan. Selanjutnya variabel yang dipengaruhi dan dijadikan sebagai tolok ukur kinerja proses *pigging* adalah kecepatan luncur *pig* serta jumlah cairan dalam pipa yang dapat dibersihkan oleh *pig*.
- (6) Membuat model matematis untuk merumuskan dinamika dan kinerja *foam pig*.

Dalam pelaksanaan tesis ini, dibuat tiga tahapan utama yang dilakukan secara berurutan. Tiga tahapan tersebut adalah: (1) Tahap perancangan alat simulasi, (2) Tahap pembuatan dan perangkaian alat, (3) Tahap percobaan dengan berbagai variabel. Alat simulasi proses *pigging* dirancang terdiri dari empat segmen terpisah, masing-masing dirancang tersendiri. Bagian tersebut yaitu : (1) Segmen *pig launcher*, (2) Segmen pipa lurus, (3) Segmen pipa belok, (4) Segmen *pig receiver*. Keempat segmen merupakan bagian yang dapat dipisah dan diubah komposisinya, sesuai dengan keperluan penelitian.

Dalam simulasi ini udara dipakai fluida penggerak, sedangkan air digunakan untuk mensimulasikan masalah yang timbul dalam aliran gas melalui pipa. Gerak *pig* ketika meluncur dapat dimodelkan menjadi  $X = (0,828 \cdot v_o - 0,421)t$ . Selanjutnya kinerja *foam pig*, dengan tolok ukur fraksi air yang dibersihkan dapat dimodelkan sebagai:  $K = 0,75v_o^{-0,09} + 0,05Z^{0,4} + 0,46d^{0,5} - 0,91A^{0,18}$  sedang dengan tolok ukur kecepatan *pig* menyelesaikan jalannya dapat dimodelkan sebagai:  $v = 2,05 + 0,64 v_o + 0,0038Z - 0,78d + 1,65A$ . Dimana : X adalah jarak ( meter), t waktu (detik),  $v_o$  kecepatan udara (m/det), K fraksi air yang dibersihkan (gr air hilang/gr air awal), Z massa air yang ditambahkan sebagai pengotor (gram), d diameter dinding dalam pipa (cm), A daya serap *foam pig* terhadap air (gr air/gram *foam pig*).



## LAMPIRAN

# LAMPIRAN A

## Data Kuantitatif

### A1. Data pengamatan dinamika pig

	Kecepatan awal udara ( $v_0$ )									
X (m)	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1
0.18	0.76	0.32	0.29	0.19	0.2	0.13	0.12	0.13	0.08	0.09
0.36	0.71	0.29	0.24	0.16	0.17	0.11	0.15	0.1	0.09	0.08
0.54	0.67	0.28	0.29	0.17	0.16	0.16	0.13	0.11	0.07	0.09
0.72	0.67	0.25	0.25	0.17	0.16	0.13	0.13	0.1	0.1	0.08
0.90	0.68	0.24	0.27	0.19	0.21	0.13	0.15	0.11	0.07	0.08
1.08	0.65	0.28	0.25	0.17	0.16	0.15	0.12	0.1	0.1	0.08
1.26	0.65	0.27	0.27	0.16	0.2	0.12	0.13	0.12	0.07	0.09
1.44	0.68	0.28	0.28	0.17	0.19	0.11	0.12	0.08	0.08	0.08
1.62	0.65	0.29	0.25	0.17	0.15	0.11	0.13	0.12	0.09	0.1
1.80	0.64	0.28	0.25	0.16	0.16	0.15	0.12	0.11	0.07	0.07

### A2. Gradien kurva X vs t terhadap kecepatan awal udara

$V_0$	gradien
0.9	0.262
1.1	0.646
1.4	0.676
1.6	1.042
1.9	1.01
2.2	1.378
2.4	1.366
2.6	1.659
2.8	2.172
3.1	2.132

### A3. Data kinerja pig

No	Jenis pig	Kec. Awal udara	Diameter foam pig	Daya serap pig
	(kode)	m/det	cm	
<b>Variasi jumlah air</b>				
1	A1	2.20	5.1	1.2
2	A2	2.20	5.1	1.2
3	A3	2.20	5.1	1.2
4	A4	2.20	5.1	1.2
5	A5	2.20	5.1	1.2
6	A6	2.20	5.1	1.2
7	A7	2.20	5.1	1.2
8	A8	2.20	5.1	1.2
9	A9	2.20	5.1	1.2
10	A10	2.20	5.1	1.2
<b>Variasi kecepatan awal udara</b>				
1	A1	1.10	5.1	1.2
2	A2	1.40	5.1	1.2
3	A3	1.60	5.1	1.2
4	A4	1.90	5.1	1.2
5	A5	2.20	5.1	1.2
6	A6	2.40	5.1	1.2
7	A7	2.60	5.1	1.2
8	A8	2.80	5.1	1.2
9	A9	3.10	5.1	1.2
0	A10	3.40	5.1	1.2
<b>Variasi diameter pig</b>				
1	B1	2.20	5.05	1.2
2	B2	2.20	5.12	1.2
3	B3	2.20	5.18	1.2
4	B4	2.20	5.31	1.2
5	B5	2.20	5.43	1.2
6	B6	2.20	5.50	1.2
7	B7	2.20	5.58	1.2
8	B8	2.20	5.72	1.2
9	B9	2.20	5.78	1.2
0	B10	2.20	5.89	1.2
<b>Variasi daya serap pig</b>				
1	C1	2.20	5.1	1.2
2	C2	2.20	5.1	1
3	C3	2.20	5.1	0.9

Berat pipa kosong	Berat pipa plus air	Berat pig bersih	Berat pipa setelah pigging	Berat pig kotor	Waktu tempuh pig
(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(detik)
1800.9	1802.93	14.96	1801.13	16.07	1.20
1801.1	1805.10	15.12	1801.30	18.21	1.22
1800.9	1806.97	14.93	1801.23	17.84	1.23
1801.2	1809.23	14.89	1801.77	21.22	1.29
1800.8	1810.80	14.87	1801.23	20.03	1.30
1800.9	1812.33	15.01	1801.50	22.88	1.33
1801.5	1815.00	15.03	1801.80	24.52	1.37
1801.2	1816.73	14.92	1801.70	25.35	1.42
1801.1	1818.40	14.98	1801.77	24.34	1.45
1801.3	1820.93	15.05	1801.80	27.66	1.50
1800.8	1816.17	15.03	1802.40	24.46	2.51
1801.3	1816.66	15.15	1802.63	25.31	1.97
1800.9	1816.20	15.05	1802.63	26.33	1.73
1800.9	1816.30	15.11	1802.20	27.34	1.46
1801.2	1816.74	15.07	1802.87	26.37	1.26
1801.5	1816.80	14.99	1803.47	26.82	1.15
1801.1	1816.20	15.01	1802.83	26.18	1.06
1800.4	1815.60	15.04	1802.47	26.01	0.99
1801.1	1816.33	15.04	1803.03	26.32	0.89
1800.9	1816.36	15.12	1802.73	26.45	0.81
1800.9	1816.29	15.09	1802.48	28.13	0.90
1800.9	1816.23	15.17	1801.95	27.04	0.92
1801.2	1816.61	15.12	1801.99	25.45	1.02
1801.5	1816.90	15.15	1801.93	24.72	1.07
1801.1	1816.44	15.09	1801.37	24.3	1.28
1800.9	1816.28	15.03	1801.24	24.26	1.31
1801.5	1816.85	15.05	1801.75	24.07	1.51
1801.2	1816.50	15.08	1801.43	24.15	1.73
1801.1	1816.49	15.11	1801.37	24.14	2.02
1801.3	1816.66	15.16	1801.50	24.21	2.54
1800.9	1816.25	15.08	1802.18	25.96	0.90
1800.9	1816.29	20.16	1802.51	28.88	1.32
1801.3	1816.72	24.78	1803.12	31.52	2.00

### A3. Data kinerja pig (lanjutan)

No	Juml air (m. gram)	Juml air terserap (gram)	Jumlah air terdorong (gram)	Jumlah air tertinggal (gram)	Total Pembersihan (gram)	Tingkat Penge- ringen	RASIO bersih (%)	Kec. Luncur (m/s)
1	2.03	1.11	0.69	0.23	1.80	0.89	88.67	1.5
2	4.00	3.09	0.71	0.20	3.80	0.95	95.00	1.47
3	6.07	2.91	2.83	0.33	5.74	0.95	94.56	1.46
4	8.03	6.33	1.13	0.57	7.46	0.93	92.90	1.4
5	10.00	5.16	4.41	0.43	9.57	0.96	95.70	1.38
6	11.43	7.87	2.96	0.60	10.83	0.95	94.75	1.35
7	13.50	9.49	3.71	0.30	13.20	0.98	97.78	1.31
8	15.53	10.43	4.60	0.50	15.03	0.97	96.78	1.27
9	17.30	9.36	7.27	0.67	16.63	0.96	96.13	1.24
0	19.63	12.61	6.52	0.50	19.13	0.97	97.45	1.2
1	15.37	9.43	4.34	1.60	13.77	0.90	89.59	0.72
2	15.36	10.16	3.87	1.33	14.03	0.91	91.34	0.91
3	15.30	11.28	2.29	1.73	13.57	0.89	88.69	1.04
4	15.40	12.23	1.87	1.30	14.10	0.92	91.56	1.24
5	15.54	11.3	2.57	1.67	13.87	0.89	89.25	1.43
6	15.30	11.83	1.50	1.97	13.33	0.87	87.12	1.56
7	15.10	11.17	2.20	1.73	13.37	0.89	88.54	1.69
8	15.20	10.97	2.16	2.07	13.13	0.86	86.38	1.82
9	15.23	11.28	2.02	1.93	13.30	0.87	87.33	2.02
0	15.46	11.33	2.30	1.83	13.63	0.88	88.16	2.21
1	15.39	13.04	0.77	1.58	13.81	0.90	89.73	2.01
2	15.33	11.87	2.41	1.05	14.28	0.93	93.15	1.96
3	15.41	10.33	4.29	0.79	14.62	0.95	94.87	1.77
4	15.40	9.57	5.40	0.43	14.97	0.97	97.21	1.69
5	15.34	9.21	5.86	0.27	15.07	0.98	98.24	1.41
6	15.38	9.23	5.81	0.34	15.04	0.98	97.79	1.37
7	15.35	9.02	6.08	0.25	15.10	0.98	98.37	1.19
8	15.30	9.07	6.00	0.23	15.07	0.98	98.50	1.04
9	15.39	9.03	6.09	0.27	15.12	0.98	98.25	0.89
0	15.36	9.05	6.11	0.20	15.16	0.99	98.70	0.71
1	15.35	10.88	3.19	1.28	14.07	0.94	91.66	2.01
2	15.39	8.72	5.06	1.61	13.78	0.96	89.54	1.36
3	15.42	6.74	6.86	1.82	13.60	0.97	88.20	0.90

# LAMPIRAN B

## Data Penelitian Pendahuluan

### B1. Data laju udara minimal

Run	Kecepatan Udara Tekan (m/s)	Keterangan
1	0,086	<i>Pig</i> tidak meluncur
2	0,338	<i>Pig</i> meluncur sampai <i>ball valve</i>
3	0,593	<i>Pig</i> meluncur sampai <i>ball valve</i>
4	0,842	<i>Pig</i> meluncur sampai pipa belok 45 <sup>0</sup>
5	1,133	<i>Pig</i> meluncur lancar
6	1,346	<i>Pig</i> meluncur lancar
7	1,633	<i>Pig</i> meluncur lancar
8	1,850	<i>Pig</i> meluncur lancar
9	2,167	<i>Pig</i> meluncur lancar
10	2,354	<i>Pig</i> meluncur lancar

### B2. Data jumlah air sebagai pengotor dalam pipa

Run	Jumlah air dimasukkan (ml)	Keterangan
1	2	Air sulit diratakan
2	4	Air sulit diratakan
3	6	Air cukup merata
4	8	Air cukup merata
5	10	Air cukup merata
6	12	Air cukup merata
7	14	Air merata
8	16	Air merata
9	18	Air merata
10	20	Air mudah timpah jika tidak hati-hati

# LAMPIRAN C

## TAMPILAN HASIL EKSEKUSI POLYMATH

### C.1. Hasil regresi non linier multi variabel

#### POLYMATH 5.0 Results

No title 02-24-2011

#### Nonlinear regression (mrqmin)

Model:  $K = a1*v^{n1} + a2*Z^{n2} + a3*d^{n3} + a4*A^{n4}$

<u>Variable</u>	<u>Ini guess</u>	<u>Value</u>	<u>Conf-inter</u>
a1	0.8	0.751936	89.04009
n1	1.04	-0.0944983	0.2334741
a2	0.835	0.0515543	0.0332045
n2	1.03	0.4042433	0.3776333
a3	1	0.4590367	7.7573214
n3	1	0.5077176	5.2527937
a4	1	-0.9100074	88.366978
n4	1	0.1801409	9.1197481

#### Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Tolerance = 0.0001

#### Precision

$R^2 = -0.670637$

$R^2_{adj} = -1.1384154$

Rmsd = 0.0088768

### C.2. Hasil regresi linier multi variabel

#### POLYMATH 5.0 Results

02-24-2011

#### Multiple linear regression

Model:  $vpig = a0 + a1*v + a2*Z + a3*d + a4*A$

<u>Variable</u>	<u>Value</u>	<u>95% confidence</u>
a0	2.0481833	2.3087276
a1	0.6415085	0.2008415
a2	0.003604	0.0218488
a3	-0.7810523	0.3591794
a4	1.6514192	1.3149078

Number of independent variables = 4

Regression including free parameter

Number of observations = 33

$R^2 = 0.7100415$

$R^2_{adj} = 0.6686188$

Rmsd = 0.0355077

Variance = 0.0490361

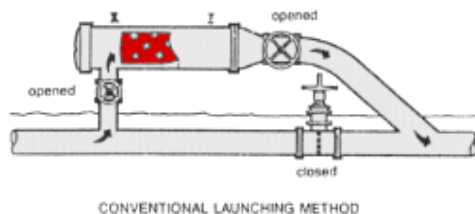
# LAMPIRAN D

## PROSEDUR PELUNCURAN DAN PENERIMAAN *PIG*

Urutan prosedur peluncuran *pig* dalam *pig launcher* untuk sistem cairan seperti dipresentasikan oleh Girard (2003) adalah sebagai berikut:

- (1) Yakinkan bahwa *isolation (pigging) valve* dan *kicker valve* tertutup
- (2) Dalam sistem aliran fluida cair, buka *drain valve* dan biarkan udara menggantikan cairan dengan membuka *vent valve*. Dalam sistem gas alam, buka *vent valve* dan biarkan tekanan sama dengan tekanan atmosfer
- (3) Jika tekanan dalam *pig trap* dipastikan telah sama dengan 0 psig, dengan *vent* dan *drain* yang tetap terbuka, bukalah *closure*
- (4) Masukkan *pig* sehingga posisinya tepat menempati bagian *reducer* sampai *nominal bore*
- (5) Bersihkan *seal* dari *closure* dan permukaan seal yang lain, beri pelumas (*lubricant*) jika perlu, kemudian tutup *closure* dan kunci atau ikat dengan baik untuk memastikan keamanannya.
- (6) Tutup *drain valve*. Isi *trap* dengan cairan yang dioperasikan secara perlahan, dengan membuka *kicker valve* sedikit demi sedikit. Selama tahap ini gas terjebak dibuang melalui *vent valve*.
- (7) Jika pengisian cairan telah selesai, tutup *vent valve* untuk membuat tekanan sama di kedua sisi *isolation valve*
- (8) Buka *isolation valve*, peluncuran *pig* siap dilakukan
- (9) Tutup sebagian *mainline valve*. Tindakan ini akan meningkatkan aliran melewati *kicker valve* dan di belakang *pig*. Lanjutkan penutupan *mainline valve* sampai *pig* meninggalkan *trap* dan masuk ke dalam jalur pipa utama, ditunjukkan oleh *pig* signal yang memberi tanda *pig* lewat
- (10) Setelah *pig* meninggalkan *trap* dan memasuki jalur pipa utama, buka penuh *mainline valve*. Tutup *isolation valve* serta *kicker valve*.
- (11) Prosedur peluncuran *pig* telah selesai

Posisi awal *pig* saat akan dilakukan pengumpanan ke dalam sistem perpipaan adalah sebagai berikut :

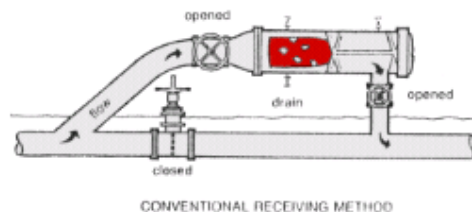


Gambar D.1. Posisi *pig* dalam *pig launcher*

Penerimaan *pig* dalam *pig launcher* juga perlu kehati-hatian. Urutan prosedur penerimaan *pig* dalam *pig receiver* adalah sebagai berikut:

- (1) Yakinkan bahwa *pig receiver* memiliki tekanan yang sama dengan jalur pipa
- (2) Buka penuh *bypass valve*
- (3) Buka penuh *isolation valve* dan buka sebagian *mainline valve*
- (4) Pantau terus *pig signaler* untuk mendeteksi kedatangan *pig*
- (5) Tutup *isolation valve* dan *bypass valve*
- (6) Buka *drain valve* dan *vent valve*
- (7) Periksa tekanan dalam *pig receiver*, dan pastikan telah menunjukkan 0 psi atau biasa disebut “*depressurized*”
- (8) Buka *closure* dan angkat *pig* dari *pig receiver*
- (9) Bersihkan *closure* dan permukaan *sealing* yang ada, beri pelumas jika perlu, dan tutup kembali *closure* sambil dipastikan keamanannya
- (10) Kembalikan kondisi *pig receiver* seperti semula, dan *pig receiving* selesai

Pada saat membuka tutup *pig trap* tekanan dalam alat harus sama dengan tekanan atmosfer. Posisi akhir *pig* dalam penerima atau *pig receiver* digambarkan dalam ilustrasi berikut ini.



Gambar D.2 Posisi *pig* dalam *pig receiver*